

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : fabrication mécanique

Par :

Benhama Dina

Bouamara Assalas

Thème

Etude et dimensionnement d'une extrudeuse pour la fabrication des profilés en plastique

Soutenu le 13/07/2022 devant le jury composé de:

Mr. Sahali

Président

Mr.Hadjou

Rapporteur

Mll. Himed

Examineur

Année Universitaire 2021-2022

Remerciements

*Je remercie avant tout mon dieu le tout puissant de nous avoir donné la foi, la
Volonté et le courage de mener à bien ce modeste travail.*

*Nous remercions notre promoteur Mr HADJOU, pour nous avoir assuré
l'encadrement et d'avoir consacré le temps nécessaire pour la réalisation de
ce
mémoire.*

*Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté de juger notre
Travail.*

*Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé de
Près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

Merci à vous tous ...

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*Aux plus belles personnes sur terre que Dieu a créé : **mes parents** :*

- ***Ma mère** : la source de patience, générosité et de tendresse*
- ***Mon père** : qui lui aussi a contribué dans mon parcours, il s'est toujours montré présent pour nous orienter et nous donner ses précieux conseils.*

Tous les remerciements ne pourront être efficaces pour montrer ma gratitude vers eux. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude.

À mon frère, Dali.

À ma sœur Nadine

À toute ma famille BENHAMA,

À tous mes amis et collègues,

À tous les étudiants de la promotion 2021/2022,

Option : Fabrication Mécanique et Productive

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

DINA

Dédicace

Je dédiés ce travail à :

*Ma mère, sources de tendresse et d'amours pour
Son soutien tout le long de ma vie scolaire.*

*Mon père, qui m'a toujours soutenu et qui a fait
Tout possible pour m'aider.*

*Mes frères (jugu ,salim,sifax,mami) et mes sœurs et leurs petites familles ,que
j'aime beaucoup.*

A ma grande famille Bouamara.

*Mes chers amis (djamel,tackfa,iles,bilal,rabeh et les autres..), et Les enseignants
de mon Parcours universitaire.*

*Tout qu'on collaboré de prés ou de loin à
L'élaboration de ce travail.*

Que dieu vous accorde santé et prospérité.

Bouamara Assalas .

Remerciements

*Je remercie avant tout mon dieu le tout puissant de nous avoir donné la foi, la
Volonté et le courage de mener à bien ce modeste travail.*

*Nous remercions notre promoteur Mr HADJOU, pour nous avoir assuré
l'encadrement et d'avoir consacré le temps nécessaire pour la réalisation de ce
mémoire.*

*Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté de juger notre
Travail.*

*Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé de
Près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

Merci à vous tous...

Liste des figures.....	
Liste des tableaux	
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralité sur l'injection plastique	
I.1. Introduction	1
I.2.Histoire de l'injection plastique.....	1
I.3.Définition de moulage par injection plastique.....	2
❖ Caractéristiques.....	2
I.4.Exemples de produits réalisés en injection plastique.....	2
I.5.L'intérêt de ce procédé.....	3
I.6.Le principe du moulage par injection	3
a. Réalisation du moule.....	4
b. Installation du moule sur une machine spécifique	4
c. Injection.....	4
d. Refroidissement du moule.....	4
e. Ejection de la pièce.....	4
f. Recommencer avec la prochaine pièce.....	4
I.7.Avantages de l'injection plastique	4
a. Fabrication de pièces plastiques en grande quantité	4
b. Productivité très élevée	5
c. Grande reproductibilité et tolérances serrées	5
I.8.Limites de l'injection plastique	6
a. Coûts de départ élevés en outillage	6
b. Les modifications de conception sont coûteuses	6
c. Délais de livraison plus longs que les autres technologies	6
I.9.Procédé d'injection.....	7
a. La phase de plastification.....	7
b. La phase de remplissage.....	7

c. La phase de compactage	8
d. La phase d'éjection	9
I.10.Presse à injection	9
a. La structure de presse d'injection.....	10
i. Le bâti.....	10
ii. L'unité de fermeture.....	11
iii. L'unité de plastification/injection.....	11
iv. L'unité d'injection.....	12
v. La buse.....	12
b. Fonctions de la presse.....	13
c. Types de machines du moulage par injection	14
I.10.1.Types de machine d'injection plastique.....	14
• Machine d'injection verticale	14
• Machine d'injection horizontale	15
I.11.Les matières plastique en construction	16
• Définition.....	16
I.12.Caractéristiques générale.....	17
• Propriétés mécaniques	17
• Résistance à la rupture	17
• Elasticité	17
• Module de Young	17
• Résistance aux chocs	17
• Propriétés physiques	17
I.13.Essais des matières plastiques	18
• Résistance à la chaleur	18
• Classification thermique	18
I.14.L'extrusion thermoplastique.....	20

I.1.Introduction	20
II.2.Domaine d'application.....	20
II.3.Principe.....	21
II.4.Description de chaque élément essentielle de l'extrudeuse.....	21
1. Corps de l'extrudeuse ou fourreau.....	21
2. Dégazage.....	23
3. Trémie d'alimentation.....	23
4. Chauffage.....	23
❖ Le Chauffage électrique	24
❖ Le Chauffage par huile chaude	24
5. Vis	24
❖ Les fonctions.....	25
❖ Géométrie du système vis/fourreau	26
6. Grille.....	26
7. Butée.....	27
8. Tête – Filière	27
9. Un moteur électrique.....	28
II.5.Types d'extrudeuses existant	28
1. Extrudeuse Mono vis	28
2. Extrudeuse Bi-vis	29
2.1.Extrudeuses bi-vis Co-rotatives.....	29
2.2. Extrudeuses bi-vis contrarotatives.....	29
II.6.Les matières plastiques qu'on peut fabriquer avec l'extrusion	30
1. C'est quoi le tuyau de PPR.....	30
2. Avantages des tubes PPR (Polypropylène Random)	31
Conclusion.....	32

Chapitre II : calcul et dimensionnement de la vis de plastification

II.1.Introduction.....	34
------------------------	----

II.2.Présentation de l'entreprise.....	34
II.3.Géométrie.....	35
II.4.Matériau.....	35
1. Acier Inox 304 (Acier Inoxydable AISI 304.....	35
2. Acier Inox 304 Fiche Technique (Propriétés).....	36
3. Composition Chimique.....	36
4. Propriétés Physiques.....	37
5. Acier Inox 304 Caractéristiques Mécaniques.....	38
6. Résistance à la Chaleur en Acier Inox 304.....	40
7. Durcissement.....	40
8. Soudage de l'acier inoxydable 304.....	41
9. Applications Typiques.....	41
10. Matière Équivalent AISI 304.....	42
II.5.Calcul des hélices	42
1. Profondeur et largeur du chenal.....	42
2. La largeur du chenal.....	42
3. L'angle d'inclinaison du filet.....	43
4. Longueur des spires (hélice).....	43
5. Longueur de la vis d'Archimède.....	43
6. Vitesse de rotations de la vis.....	43
7. Calcul du débit	43
8. Calcul des arbres.....	43
a. Puissance transmise par un arbre.....	44
b. Moment du couple moteur.....	44
9. Calcul d'un arbre à la torsion.....	44
II.6. Calcul des arbres a la torsion et à la flexion.....	46

3. Condition de sécurité.....	48
II.7.Montage de l'axe sur le moteur.....	49
1. Liaisons par goupilles.....	49
II.8.Resistance mécanique de l'arbre a la torsion.....	49
8.1. Liaison par clavettes.....	50
8.1.1. Dimensionnement de la clavette.....	51
8.2. Liaison par accouplements.....	52
8.3. Les caractéristiques principales de la liaison.....	52
8.4. Réglage de l'alignement de l'axe de la sortie du moteur à la sortie du produit.....	52
8.5. Paliers à roulements.....	53
II.9.Application.....	54
9.1.Cahier des charges.....	54
9.2. Calcul de la vitesse de rotation de la vis.....	54
9.3. Dimensionnement de la vis.....	55
a. Puissance transmise par un arbre.....	55
b. Moment du couple moteur.....	55
9.4. Calcul d'un arbre à la torsion.....	55
9.5. Calcul de résistance a la flexion.....	56
10. Calcul des hélices.....	57
10.1. Calcul de H : (la profondeur du chenal).....	57
10.2. Calcul de θ : (l'angle d'inclinaison du filet).....	57
10.3. Calcul de Z : (longueur déroulée d'un tour d'hélice).....	57
10.4. Calcul du largeur du chenal.....	57
10.4.1. Force de poussée.....	58
10.5. Calcul de variation de pas dans les différentes parties de la vis.....	59
10.5.1. Calcul des volumes dans les différentes parties de la vis.....	59
10.6. Calcul de débit.....	60

VI.2. Matériaux à usiner.....	72
VI.3. Abaque Inox 304.....	72
VI.4. Caractéristique de tour.....	72
VI.5. Étapes d’usinage.....	73
5.1. Les étapes d’usinage de la vis d’extrusion.....	73
VI.6. Gamme d’usinage.....	78
Conclusion.....	80
Conclusion générale.....	81
Liste bibliographique.....	
Annexes.....	

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Tube en PVC.....	2
Figure I.2 : Tube en PPR.....	2
Figure I.3 : Injection plastique.....	6
Figure I.4 : Phase de plastification.....	7
Figure I.5 : Phase de remplissage.....	8
Figure I.6 : Phase de compactage.....	9
Figure I.7 : Presse d'injection.....	9
Figure I.8 : Phase d'injection.....	10
Figure I.9 : Structure de la presse d'injection.....	10
Figure I.10 : L'unité de fermeture.....	11
Figure I.11 : L'unité de plastification.....	12
Figure I.12 : L'unité d'injection.....	12
Figure I.13 : La buse.....	13
Figure I.14 : Fonctions de presse.....	13
Figure I.15 : Exemples de différents systèmes de plastification de presse à injecter.....	14
Figure I.16 : Machine d'injection verticale.....	15
Figure I.17 : Machine d'injection horizontale.....	16
Figure I.18: Ligne d'extrusion des thermoplastiques.....	21
Figure I.20 : Fourreau et ses accessoires.....	22
Figure I.21 : Vis et ses accessoires.....	25

Figure I.21 : Zones géométriques de la vis.....	26
Figure I.22 : Description schématique d'une Extrudeuse MONOVIS.....	28
Figure I.23 : Schéma d'une extrudeuse bi-vis Co-rotatives.....	29
Figure I.24 : Schéma d'une extrudeuse bi-vis Co.....	29
Figure I.25 : Granulé PP.....	30
Figure I.26 : Tubes en PPR.....	30
Figure I.27 : Installation des tubes en PPR (Polypropylène Random).....	31

Chapitre II

Figure II.1 : Granulé de matière PP.....	34
Figure II.2 : Entreprise Silex Plast.....	34
Figure II.3 : Géométrie de la vis avec âme.....	35
Figure II.4 : Liaison à l'aide des goupilles.....	50
Figure II.5 : Liaison par clavettes.....	50
Figure II.6 : Liaison par accouplement.....	52
Figure II.7 : Méthodes d'analyse d'alignements.....	53
Figure II.8 : Quelques modèles de paliers à roulements.....	54
Figure II.9 : Force de poussée sur l'hélice.....	58

Chapitre III

Figure III.1 : Model CAO de la vis.....	62
:Figure III.2 : Modèle CAO du fourreau.....	63

Figure III.3 : Modèle CAO de la trémie.....	63
Figure III.4 : Modèle CAO de la porte trémie.....	64
Figure III.5 : Modèle CAO du bouchon.....	64
Figure III.6 : Présentation de la simulation de la vis sur Solidworks.....	67
Figure III.7 : Simulation de l'extrémité de la vis.....	67
Figure III.8 : Maillage triangulaire type standard appliqué sur notre pièce.....	68
Figure III.9 : Maillage triangulaire sur l'extrémité de notre vis.....	68
Figure III.10 : Distribution des contraintes sur la première partie de la vis.....	69
Figure III.11 : Distribution des contraintes sur la clavette.....	70
Figure III.12 : Présentation des déplacements lors de fonctionnement de la vis.....	70

Chapitre IV

Figure IV.1: Tour à 4 axes.....	73
Figure IV.2 : Vis d'extrusion.....	74
Figure IV.3 : La brute utilisée.....	74
Figure IV.4 : Opération de dressage.....	75
Figure IV.5 : Opération de chariotage sur notre pièce.....	75
Figure IV.6 : Chanfrein.....	76
Figure IV.7 : Dressage de l'arbre.....	76
Figure IV.8 : Deuxième chanfrein.....	78
Figure IV.9 : Réalisation de clavette.....	78

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Avantage de l'injection plastique.....	6
Tableau I.2 : Les grandes familles plastiques.....	19
Tableau I.1 : Liste des tailles de tuyaux en polypropylène PPR (Polypropylène Random).....	32
Tableau II.1 : Composition chimique de notre acier.....	36
Tableau II.2 : Propriété physique de l'acier inox 304.....	38
Tableau II.3 : Caractéristique mécanique de l'inox 304.....	38
Tableau II.4 : Propriété mécanique de l'inox 304.....	38
Tableau II.5 : Résistance à la traction de notre acier.....	40
Tableau II.6 : Résistance à la chaleur.....	40
Tableau II.7 : Matière équivalent.....	42
Tableau II.8 : Dimensions des clavettes normalisées.....	51
Tableau II.9 : Modèles de clavettes.....	51

Introduction Générale

Introduction générale

Le moulage par injection est aujourd'hui l'un des procédés les plus utilisés pour la mise en forme des polymères. Il est généralement utilisé pour la production de très grandes séries pour l'automobile, l'électroménager, articles de sport, santé ...etc., ou pour des séries plus réduites en aéronautique. Il permet de produire à grande cadence avec un faible coût, et avec une grande régularité, et de façon automatique des pièces massives et ou de formes complexes.

Son principe consiste à remplir le polymère thermoplastique fondu dans une cavité, appelée empreinte, à l'intérieure d'un moule. Lorsque celui-ci se refroidit, la pièce se solidifie tout en se contractant : le volume occupé par la pièce solidifiée est inférieur à celui de l'empreinte, on appelle ce phénomène le retrait. Lorsque la solidification est terminée, il y a une ouverture du moule et éjection de la pièce.

Les presses d'injection ont été développées significativement comme les presse vertical ou horizontal, en raison de leur grande polyvalence et diverses utilisations. Ils peuvent être utilisés comme un outil de mélange ou des réacteurs chimiques, et permettent à produire des pièces spécifiques.

Ce travail concerne en grande partie l'étude des procédés de transformation des matières plastiques par un système vis-fourreau, pour mieux comprendre le phénomène de plastification.

La plastification est l'étape durant laquelle le polymère originellement à l'état solide est graduellement fondu et homogénéisé par le chauffage externe et l'action mécanique de la friction contre les parois de l'outillage et du cisaillement. Cette étape est capitale dans la maîtrise technique et économique du procédé. Le but principal de cet étude est de dimensionner une vis de plastification afin de fabriquer des profilés en plastique.

L'organisation de notre travail est comme suit :

- Le premier chapitre présente des généralités sur l'injection plastique, les procédés de mise en forme des plastiques en particulier le procédé de moulage par injection, et une description des machines d'injection est enfin quelques notion sur les polymères.
- Le deuxième chapitre présente les composantes essentiels du groupe plastification et les notions fondamentaux sur les vis de plastification, enfin quelque généralité sur la matière d'injection (polypropylène).

- Le troisième chapitre présente les différents calculs nécessaires pour modéliser et dimensionner la vis de plastification.
- Le quatrième chapitre présente la modélisation géométrique et numérique (CAO, assemblage et simulation des pièces du groupe de plastification) et les principes des éléments fini utilisés pour établir des équations de base réagissant la thermique et la dynamique.
- Enfin le dernier chapitre présente la gamme de fabrication et les différentes étapes de fabrication de la vis.

Chapitre I

Génération sur l'injection plastique

1. INTRODUCTION :

Le moulage par injection, aussi appelé injection plastique, est un procédé de mise en œuvre de matières thermo formables, surtout les matières thermoplastiques mais aussi divers métaux, alliages et céramiques techniques. Ce procédé est passé à la production d'une vaste gamme de produits pour de nombreuses industries, l'emballage, la construction, les jouets, la plomberie, et les applications techniques. Presque tous les articles en plastique autour de nous ont été fabriqués en injection plastique. En effet, cette technologie est capable de produire des pièces identiques à des volumes très élevés (généralement de 1 000 à plus de 100 000 unités) à un coût par pièce très faible (généralement de 1 à 5 euros l'unité).

2. Histoire de l'injection plastique :

L'inventeur américain John Wesley Hyatt a breveté la première machine de moulage par injection en 1872. Cette machine était relativement simple par rapport aux machines en usage aujourd'hui: elle fonctionnait comme une grande aiguille hypodermique, en utilisant un plongeur pour injecter du plastique à travers un cylindre chauffé dans un moule. A l'époque on produisait surtout des colliers, boutons et peignes.[1]

En 1919, Arthur Eichengrün a développé la première presse de moulage par injection, qu'on peut considérer comme la première machine à injection moderne. Quelques années après, en 1926 Eckert et Ziegler font breveter la première presse à injecter ayant des caractéristiques commerciales. Dans les années 1930 voit l'apparition des premières presses à injecter en France. C'est le début des articles ménagers et jouets en plastiques sur le marché de consommation.[1]

L'industrie s'est développée rapidement dans les années 1940, suite à une demande énorme pour des produits peu coûteux, produits en série. En 1946, l'inventeur américain James Watson Hendry construit la première machine avec vis à injection, permettant un contrôle beaucoup plus précis sur la vitesse d'injection et la qualité des articles produits. Cette machine permettait d'ajouter du plastique coloré ou recyclé à la matière vierge avant d'être injecté. Aujourd'hui les machines avec vis d'injection représentent la grande majorité de toutes les machines d'injection.
[1]

3. Définition de moulage par injection plastique :

L'injection plastique est une méthode de production faite pour la fabrication de pièces identiques en série. Elle commence généralement à être intéressante vis-à-vis des autres méthodes à partir de quelques centaines de pièces.[2]

❖ Caractéristiques :

- Réalisation d'objets de formes complexes de quelques grammes à 50kg d'une densité de 0.9 à 1.1.
- Outillage très précis donc très cher.
- Utilisation pour des pièces fabriquées en grande série (>10000 pièces).
- Pression d'injection peut atteindre 2000 bars.
- Grande cadence de fabrication (8 secondes pour des pièces d'épaisseur < 3mm).
- Température de 150° à 300°.
- Le coût au kilo du plastique de grande diffusion est 1.5€ à 3€. [2]

4. Exemples de produits réalisés en injection plastique :

Le moulage par injection plastique permet de produire une vaste gamme de **produits** pour de nombreuses industries. De divers produits comme les produits de consommation, les jouets l'aérospatiale, le matériel médical, la plomberie, l'automobile... sont compris.



Figure I.1 : Tube en PVC.[2]



Figure I.2 : Tube en PPR

5. L'intérêt de ce procédé :

- Un intérêt économique : À partir d'un certain seuil, ce procédé de fabrication va souvent devenir économiquement plus intéressant que les autres méthodes notamment grâce à une matière première peu onéreuse, des temps de fabrication courts et un poids faible.
- Un intérêt technique : L'injection plastique a également des atouts techniques. Cette méthode de fabrication permet d'avoir de beaux états de surface sans retouche ainsi qu'un ratio poids/solidité très intéressant. [3]

6. Le principe du moulage par injection :

Le moulage par injection ou injection thermoplastique, permet de fabriquer des objets en moyen ou très grande série, dans la bonne matière. La qualité du moule et la précision du processus permettent d'obtenir des pièces de production visuelles et fonctionnelles. Ces pièces séries sont produites pour de nombreux domaines. Elles sont utilisables pour les appareils ménagers ou dans l'automobile par exemple.[4]

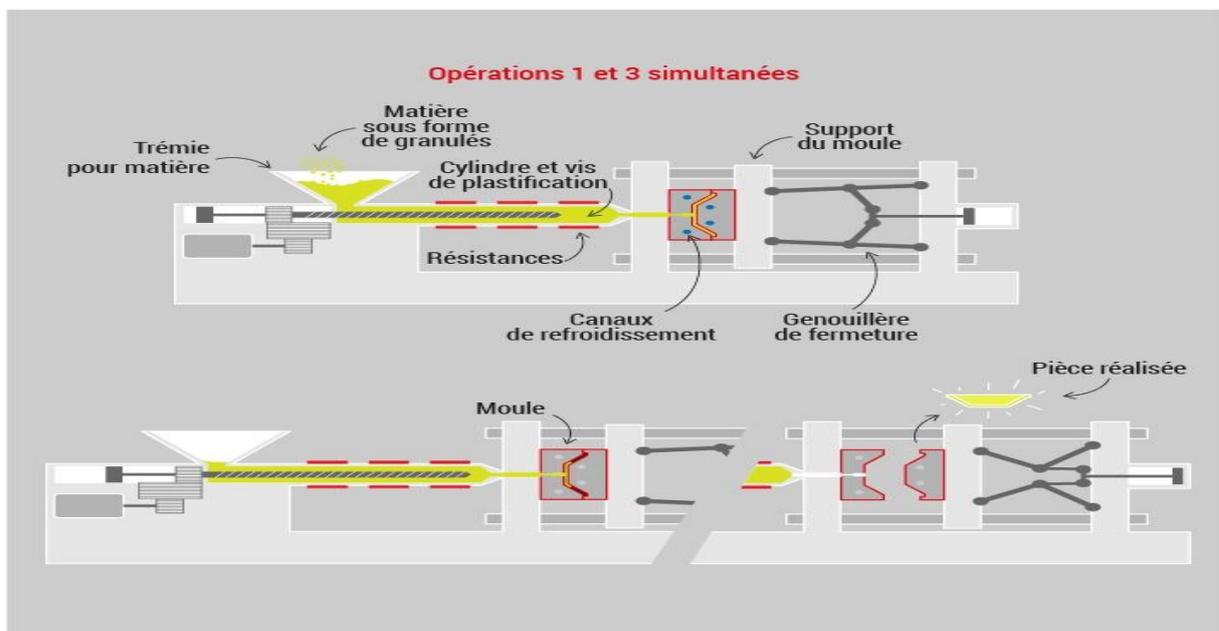


Figure I.3 : Injection plastique.[4]

- **Réaliser un moule** : Ce dernier est composé de deux parties, une partie fixe et une partie mobile. La conception du moule doit permettre une éjection facile des pièces.[4]
- **Installer le moule sur une machine spécifique** : la presse à injection. Les deux parties du moules sont pressées fortement l'une contre l'autre. Le matériau (sous forme de granulés) est versé dans une vis de plastification (ou vis sans fin) qui est chauffée. La rotation de la vis alliée à la température va ramollir les granulés, qui se transforment en matière plastique fondue. La matière fondue et déformable est stockée à l'avant de la vis, avant l'injection.[4]
- **Injecter sous haute pression** les matières plastiques ramollies sous l'effet de la chaleur dans le moule : Dans cette phase, il faut s'assurer que le moule soit complètement rempli avant que le matériau ne se solidifie. Voilà pourquoi on continue à envoyer de la matière sous pression, afin de pallier au retrait qui s'exerce lorsque la matière refroidit.[4]
- **Refroidir le tout** : Par le biais de circuits de refroidissement à l'intérieur du moule. Suite à cette opération l'objet est éjecté du moule.[4]
- **Ejecter la pièce.**
- **Recommencer avec la prochaine pièce.** [4]

7. Avantages de l'injection plastique

L'injection plastique est une technologie de fabrication établie de longue date, mais elle est constamment perfectionnée et améliorée grâce à de nouvelles avancées technologiques.[5]

- **Fabrication de pièces plastiques en grande quantité** : L'injection plastique est la technologie la plus compétitive en termes de coûts pour la fabrication de grands volumes de pièces plastiques identiques. Une fois le moule créé et la machine installée, des pièces supplémentaires peuvent être fabriquées très rapidement et à moindre coût. Le volume de production minimum recommandé pour l'injection plastique est de 500 pièces. A ce stade, les économies d'échelle commencent à se faire sentir et les coûts initiaux relativement élevés de l'outillage ont un effet moins important sur le prix unitaire.[5]

Chapitre I : Généralités sur l'injection plastique

- **Productivité très élevée :** Le cycle classique d'injection plastique dure de 15 à 60 secondes, selon la taille de la pièce et la complexité du moule. En comparaison, l'usinage CNC ou l'impression 3D peut prendre de quelques minutes à quelques heures pour produire la même géométrie. De plus, un moule unique peut recevoir plusieurs pièces, ce qui augmente encore les capacités de production de ce procédé de fabrication. Cela signifie que des centaines (voire des milliers) de pièces identiques peuvent être produites chaque heure.[5]
- **Grande reproductibilité et tolérances serrées :** Le procédé d'injection plastique est très reproductible et les pièces produites sont en principe identiques. Bien sûr, le moule s'use avec le temps, mais un moule en aluminium de série dure généralement de 5 000 à 10 000 cycles, tandis que les moules de production à grande échelle en acier à outils peuvent supporter plus de 100 000 cycles. En général, l'injection plastique produit des pièces avec des tolérances de $\pm 0,500$ mm. Des tolérances plus serrées jusqu'à $\pm 0,125$ mm sont également possibles dans certaines circonstances. Ce niveau de précision est suffisant pour la plupart des applications et comparable à l'usinage sur machine à commande numérique et à l'impression 3D. Excellente apparence visuelle L'une des principales forces de l'injection plastique est qu'il s'agit d'un procédé capable de produire des produits finis qui n'ont besoin que de peu ou pas de finition supplémentaire. Les surfaces du moule peuvent être polies à un niveau très élevé pour créer des pièces à l'aspect miroir. Ou elles peuvent être grenillées pour créer des surfaces texturées. Les normes SPI indiquent le niveau de finition qui peut être atteint.[5]

	Aspect pièce	Résistance	Coût série	Délai prod	Poids pièce
Injection plastique	★★★★	★★	★★★★	★★★★	★★★★
Usinage plastique	★	★★	★	★★	★★
Usinage métal	★★	★★★★	★	★	★
Impression 3D	★	★	★	★	★★★★

Tableau indicatif pour une série de 5 000 pièces
 ★ peu intéressant ★★ intéressant ★★★ très intéressant

Figure I.4 : Avantage de l'injection plastique.[5]

8. Limites de l'injection plastique :

- Coûts de départ élevés en outillage :** La principale restriction économique de l'injection plastique réside dans le coût élevé de l'outillage. Puisqu'un moule sur mesure doit être réalisé pour chaque géométrie, les coûts au départ sont très élevés. Ceux-ci sont principalement liés à la conception et à la fabrication du moule et varient généralement entre 5 000 € et 100 000 €. Pour cette raison, l'injection plastique n'est économiquement viable que pour les productions supérieures à 500 unités.[6]
- Les modifications de conception sont coûteuses :** Après la fabrication d'un moule, il est très coûteux de le modifier : les modifications de conception nécessitent généralement la fabrication d'un nouveau moule à partir de zéro. Pour cette raison, il est très important de concevoir correctement une pièce pour l'injection plastique.[6]
- Délais de livraison plus longs que les autres technologies :** Le délai de livraison classique en injection plastique varie de 6 à 10 semaines, 4 à 6 semaines pour la fabrication du moule, plus 2 à 4 semaines supplémentaires pour la production et l'expédition. Si des modifications de conception sont nécessaires au modèle, ce qui est assez courant, le délai de livraison augmente en conséquence. En comparaison, les pièces fabriquées dans une imprimante 3D de bureau peuvent être prêtes à être livrées du jour au lendemain, alors que les systèmes

Chapitre I : Généralités sur l'injection plastique

d'impression 3D industriels ont un délai de livraison typique de 3 à 5 jours. Les pièces usinées sur machine à commande numérique sont généralement livrées dans les 10 jours ou parfois seulement 5 jours. [6]

9. Procédé d'injection:

Lors d'une opération de moulage par injection, la fabrication de chaque pièce passe par quatre phases principales du cycle d'injection:

- **La phase de plastification:**

La phase de plastification a pour objectif de faire passer le polymère de l'état solide (Sous forme de granulés) à l'état fondu. Cette transformation est réalisée par l'ensemble vis fourreau dont la fonction est de broyer et de chauffer le granulés pour l'amener peu à peu à l'état fondu. Pour cela, la vis de l'unité possède un mouvement de rotation pour permettre l'auto échauffement de la matière par malaxage, et de translation pour stocker à l'avant du fourreau la quantité de matière à injecter dans la cavité du moule (Figure I.5). [7]

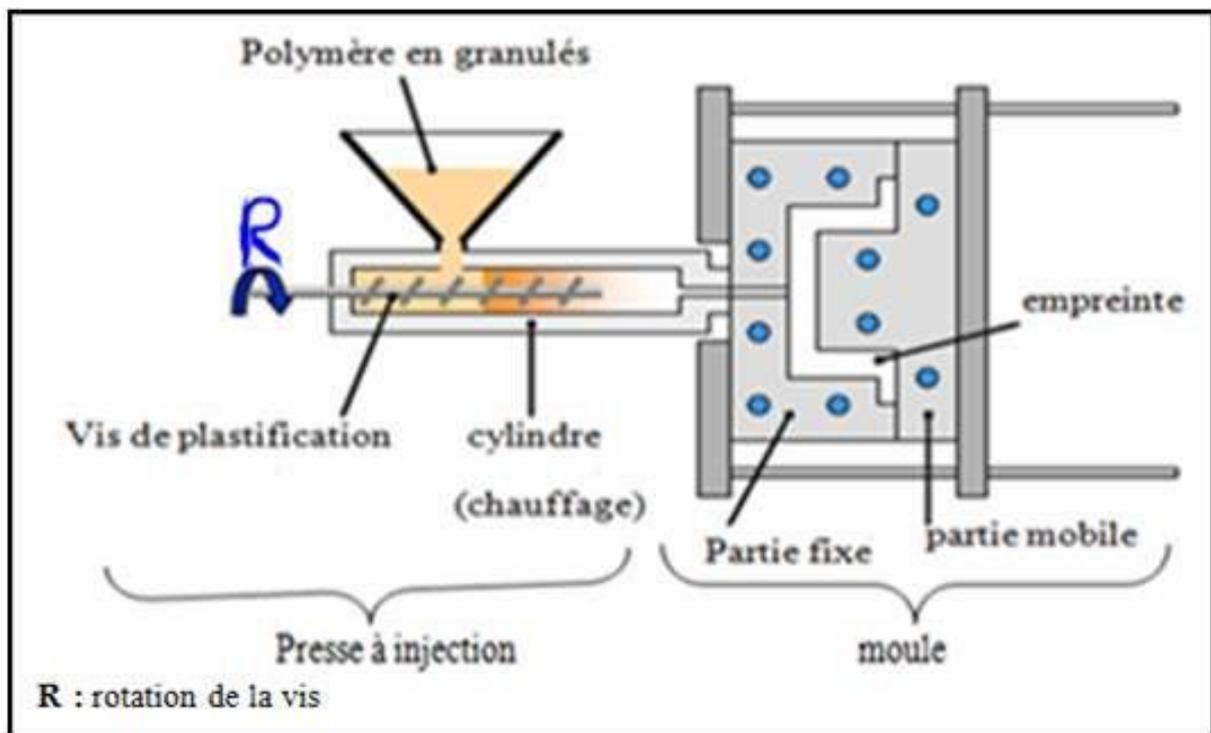


Figure I.5 : Phase de plastification

- **La phase de remplissage:**

Chapitre I : Généralités sur l'injection plastique

Une fois la matière accumulée en tête de fourreau, celle-ci est injectée dans l'empreinte de l'outillage par une avancée de la vis. Cette phase du cycle de transformation est appelée phase dynamique du remplissage. L'avancée de la vis est régulée en débit ou en pression pour maîtriser la vitesse d'injection du thermoplastique dans l'empreinte. Ce remplissage a une durée très courte, par rapport à celle de la phase de refroidissement (Figure I.6). [7]

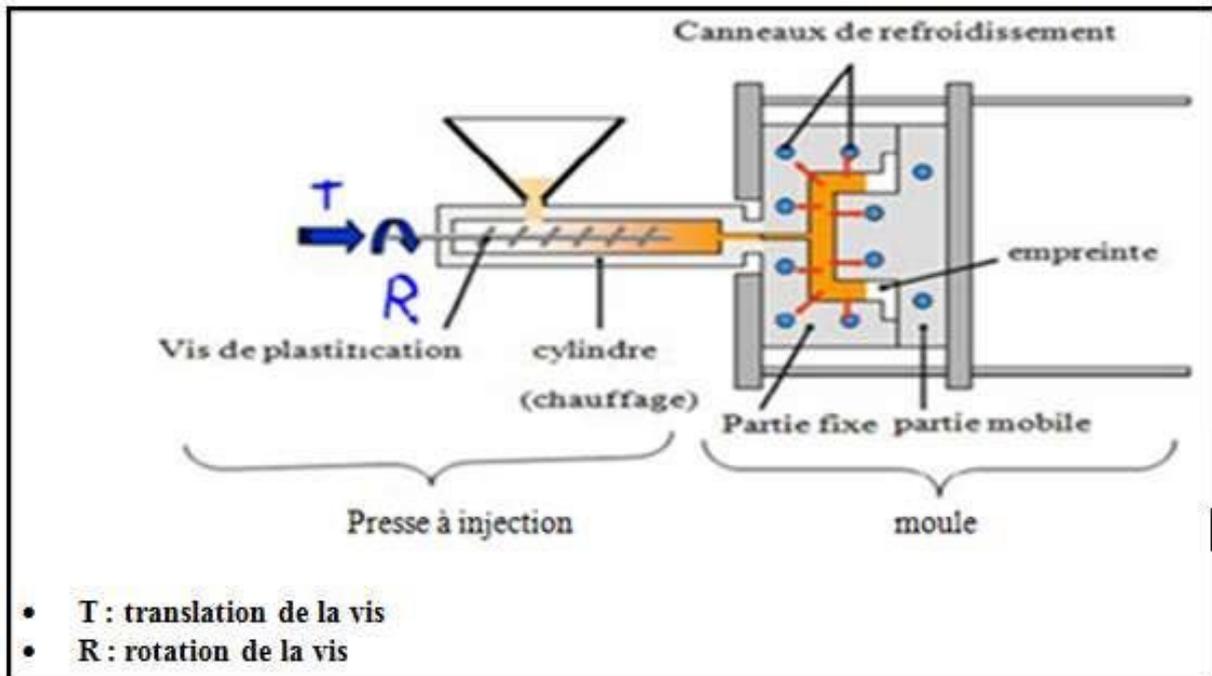


Figure I.6 : phase de remplissage.[7]

- **La phase de compactage :**

Le compactage est l'instant clé du procédé d'injection. Il s'agit de l'instant de transition entre la phase de remplissage dynamique et la phase de maintien. A cet instant, le pilotage de l'injection passe d'une régulation en vitesse à une régulation en pression. En général, on choisit de commuter au moment où l'empreinte est complètement remplie. Cet instant est notifié par la présence d'un pic de pression d'injection prononcé. Cet événement est alors utilisé pour déclencher la commutation. Dès lors où la commutation est enclenchée, la presse applique au niveau du bloc d'injection une consigne de pression de maintien. Ceci a pour objectif de maintenir la matière dans la cavité pour compenser les phénomènes de retrait volumique dus au refroidissement de la matière (Figure I.7). [7]

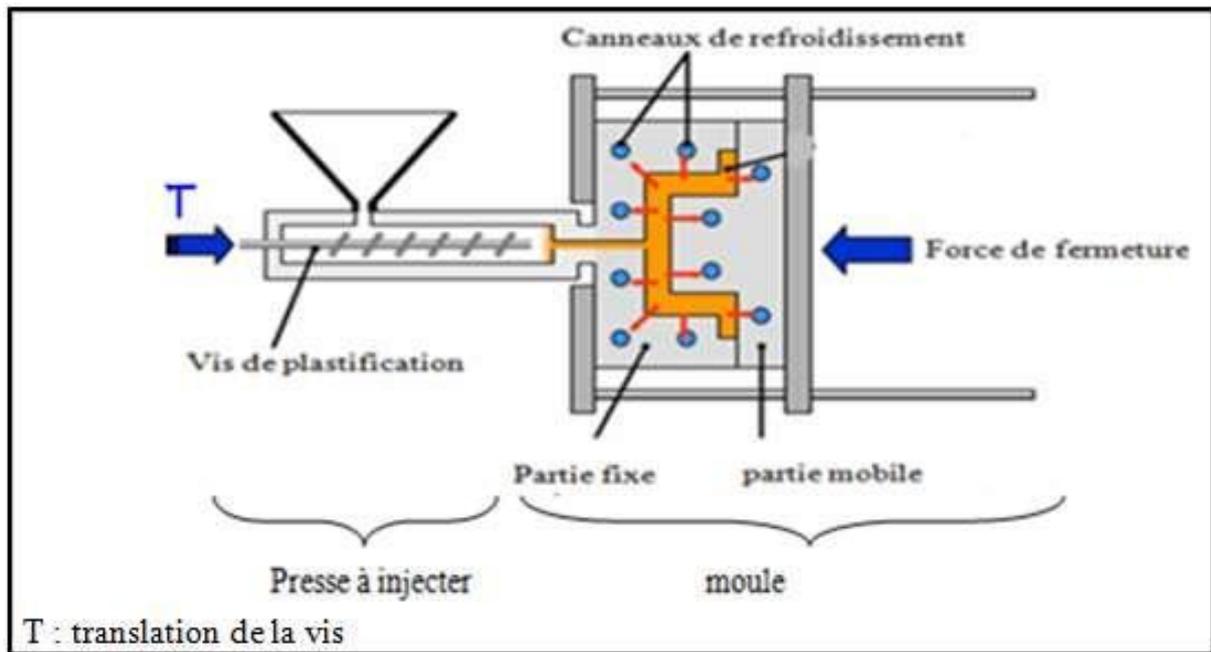


Figure I.7 : Phase de compactage.[7]

- **La phase d'éjection :**

La vis de plastification recule avant de commencer un nouveau dosage de matière en vue du cycle suivant, cette opération a pu commencer dès la fin du compactage (Figure I.8). [7]

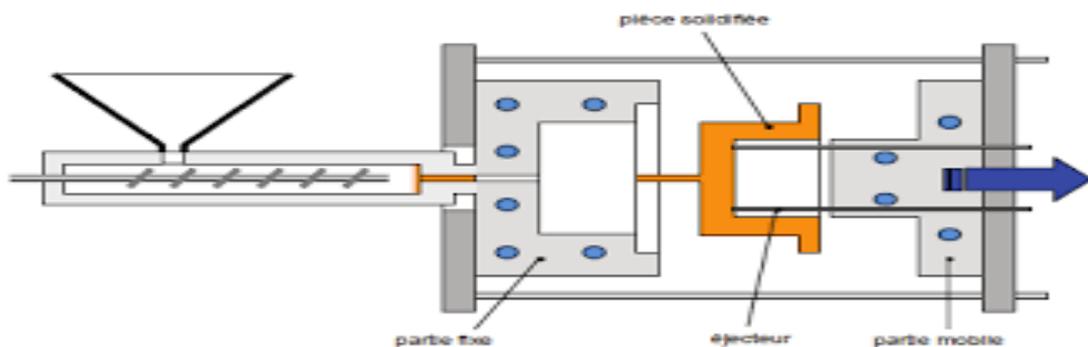


Figure I.8 : Phase d'injection.[7]

10. Presse à injection :

La presse d'injection est une machine qui permet d'obtenir des pièces en plastique injecté sous pression dans un moule (monté sur la presse). L'injection du plastique se fait généralement à haute pression et à température supérieure à la température de transition vitreuse la température se ramollit. A cet état la matière n'est plus solide mais n'est pas aussi liquide. Elle est à l'état visqueux entre les deux états liquide et solide. la matière peut être injectée dans le moule et la matière plastique prend la forme de l'empreinte du moule. Après refroidissement, la pièce est éjectée du moule. Le refroidissement se fait par circulation d'eau froide dans le circuit de refroidissement du moule.[8]

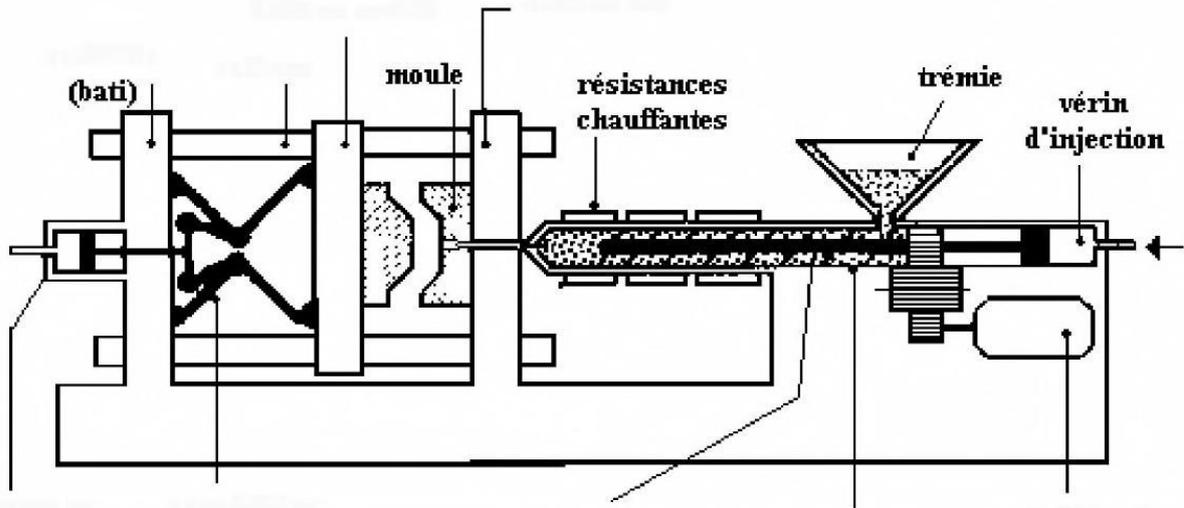


Figure I.9 : Presse d'injection.[8]

- **La structure de presse d'injection:**

La presse d'injection comprend une unité de plastification, qui transforme les granules solides en polymère fondue pour l'injecter ensuite dans le moule. Et une unité de fermeture, à laquelle le moule est fixé. La (figure. I.6) illustre les parties principales d'une presse à injection. Dans le cas des thermoplastiques, le moule est réglé généralement à une température voisine de la température ambiante afin de figer la matière plastique le plus vite possible. [8]

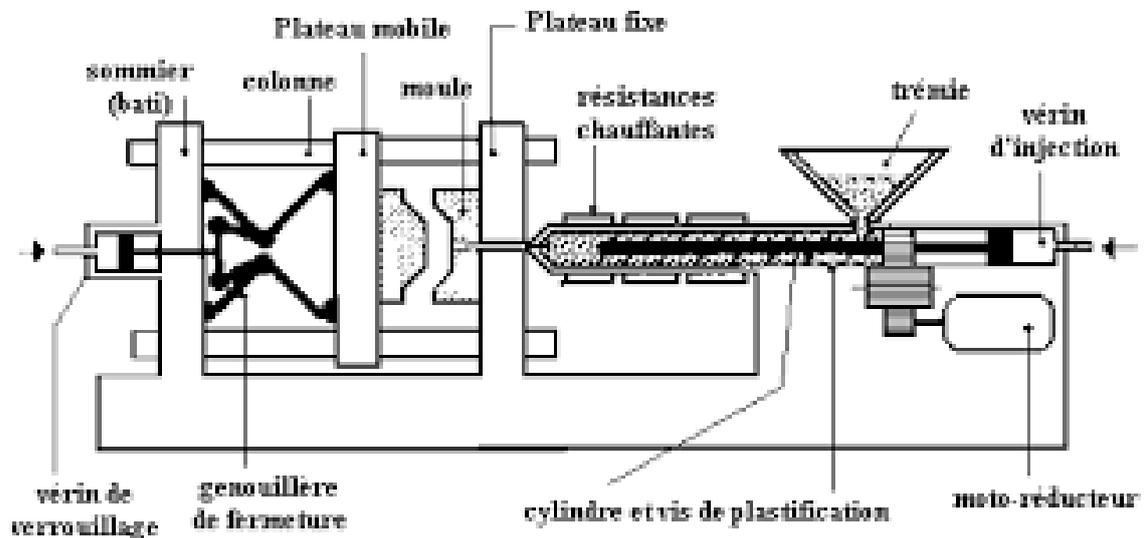


Figure I.10 : Structure de la presse d'injection.[8]

- i. **Le bâti:**

C'est ce qui supporte l'ensemble des organes nécessaires, moteur électrique, pompe hydraulique, réservoir d'huile, les canalisations, tous les électrovannes et les distributeurs. La forme et la

Chapitre I : Généralités sur l'injection plastique

position du bâti, on distingue trois type de presse: Presse horizontale, Presse verticale, Presse universelle.[8]

ii. L'unité de fermeture:

Cet ensemble permet la fermeture, l'ouverture) et le verrouillage de la partie mobile de la presse, sur la partie fixe. C'est un organe très important qui doit s'opposer à l'effort d'injection. Elle supporte le système d'éjection. Ainsi, cette unité peut être manœuvrée de plusieurs manières.[8]

- **Unité de fermeture mécanique :**

Bien que les mouvements soient assurés par un vérin, elle est appelée mécanique, car l'effort de verrouillage est assuré par les genouillères (arc-boutement).[8]

- **Unité de fermeture hydraulique :**

Les mouvements du plateau mobile sont assurés par un gros vérin central qui a pour but de faire l'approche du plateau mobile jusqu'au plateau fixe et d'un vérin plus petit qui assure le verrouillage dans la phase finale de la fermeture.[8]

- **Unité de fermeture mixte :**

Ce procédé est un compromis, les mouvements d'ouverture et de fermeture se font uniquement par des genouillères, tandis que le verrouillage est assuré par un ou des vérins hydrauliques.[8]

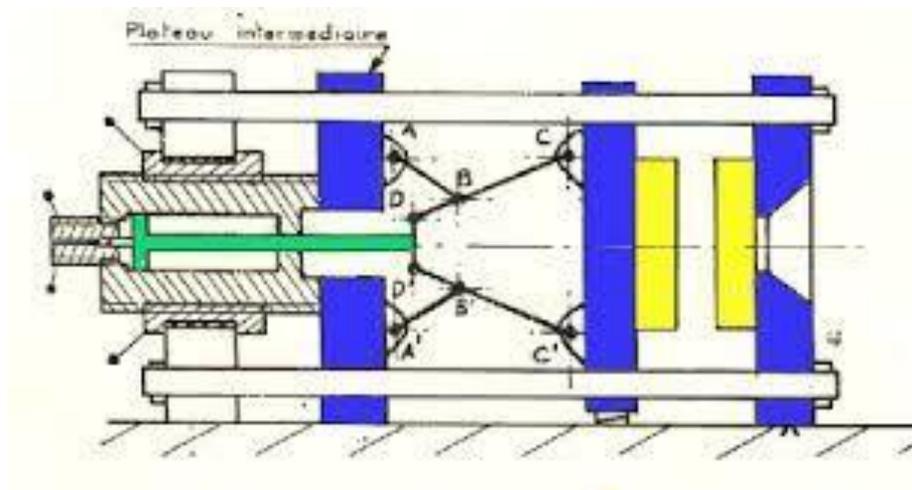


Figure I.11: L'unité de fermeture.[8]

iii. L'unité de plastification/injection:

Sous cette désignation on comprend la partie de l'unité d'injection, qui est en contact direct avec la matière plastique à transformer et avec le moule. Ses rôles sont de ramollir la matière plastique de l'homogénéiser de la doser et de l'injecter dans le moule.[8]

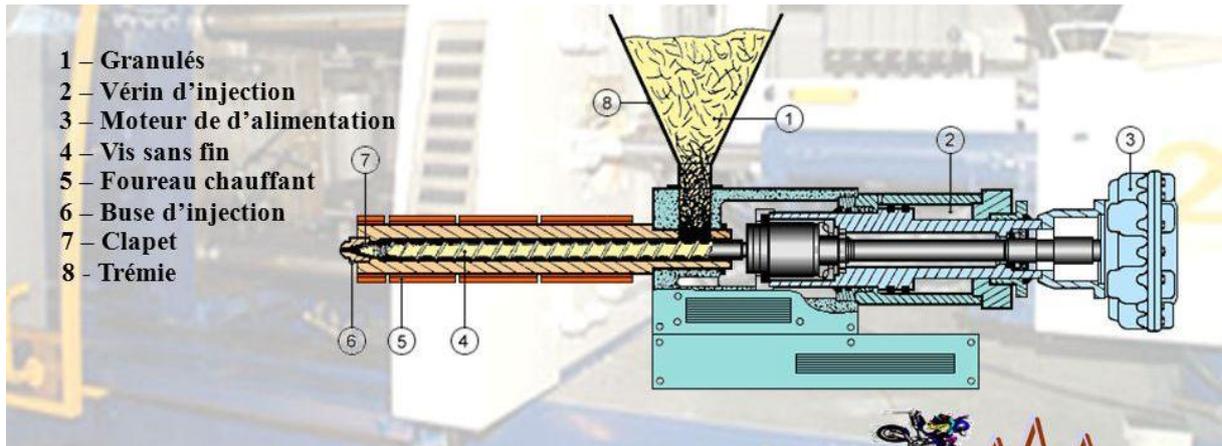


Figure I.12: L'unité de plastification.[8]

iv. L'unité d'injection:

Le groupe d'injection comprend l'unité de plastification, le vérin d'injection, le groupe d'entraînement de la vis, la buse, ... L'unité est montée sur une glissière à colonnes pour un guidage précis, robuste et avec peu d'entretien. L'ensemble de la glissière est déplacé à l'aide de deux vérins produisant l'effort de contact buse/moule.[8]

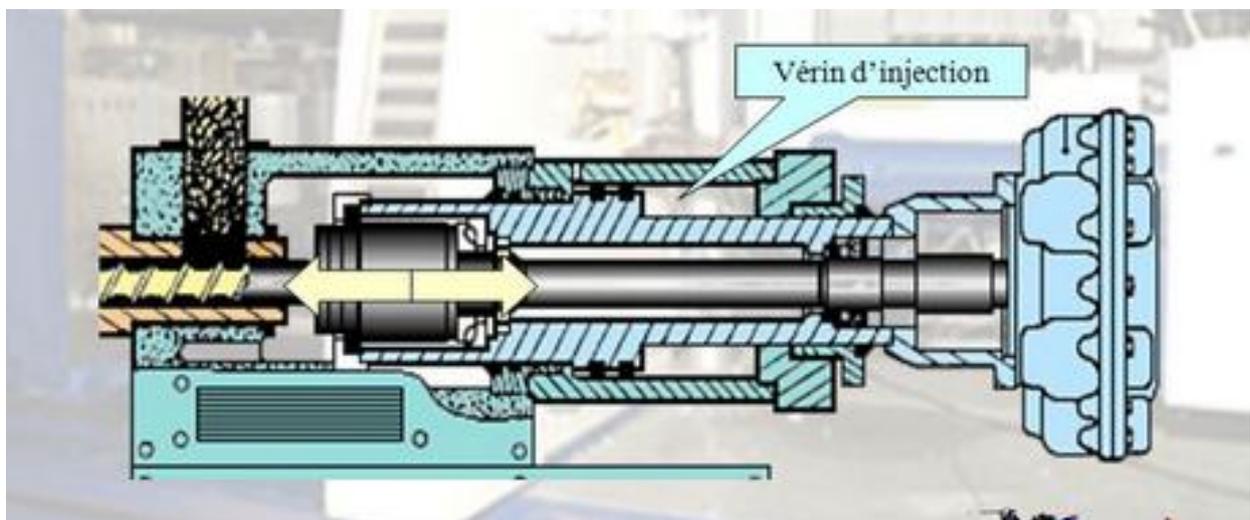


Figure I.13 : L'unité d'injection.[8]

v. La buse:

Elle doit assurer un contact étanche avec le moule durant l'injection est généralement sphérique ou tronconiques ou planes. Elle doit également présenter une surface de contact réduite avec le moule afin de limiter le refroidissement.

A – Buse d'injection E – Siège de clapet

B – Collier chauffant F – Passage matière

C – Nez de presse G – Vis

D – Clapet H – Pointe clapet

I – Fourreau

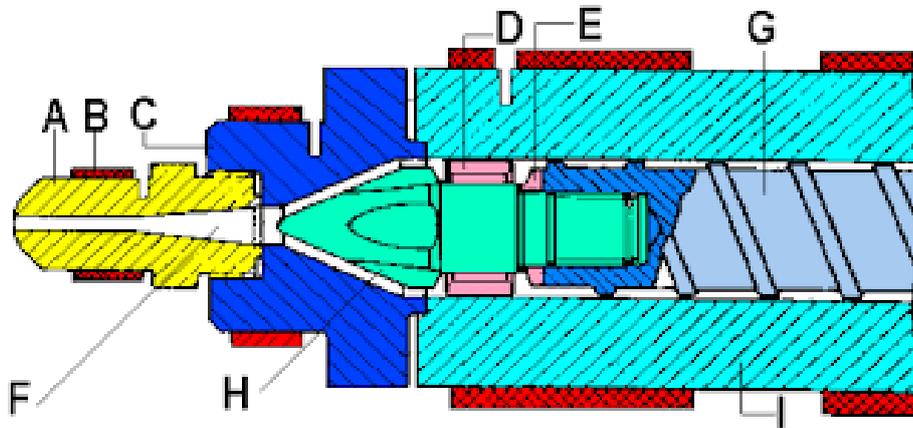


Figure I.14: La buse.[8]

- **Fonctions de la presse:**

La figure ci-dessus présente schématiquement les fonctions nécessaires qui doivent être assurées par la presse.

Fonctions assurées par la presse

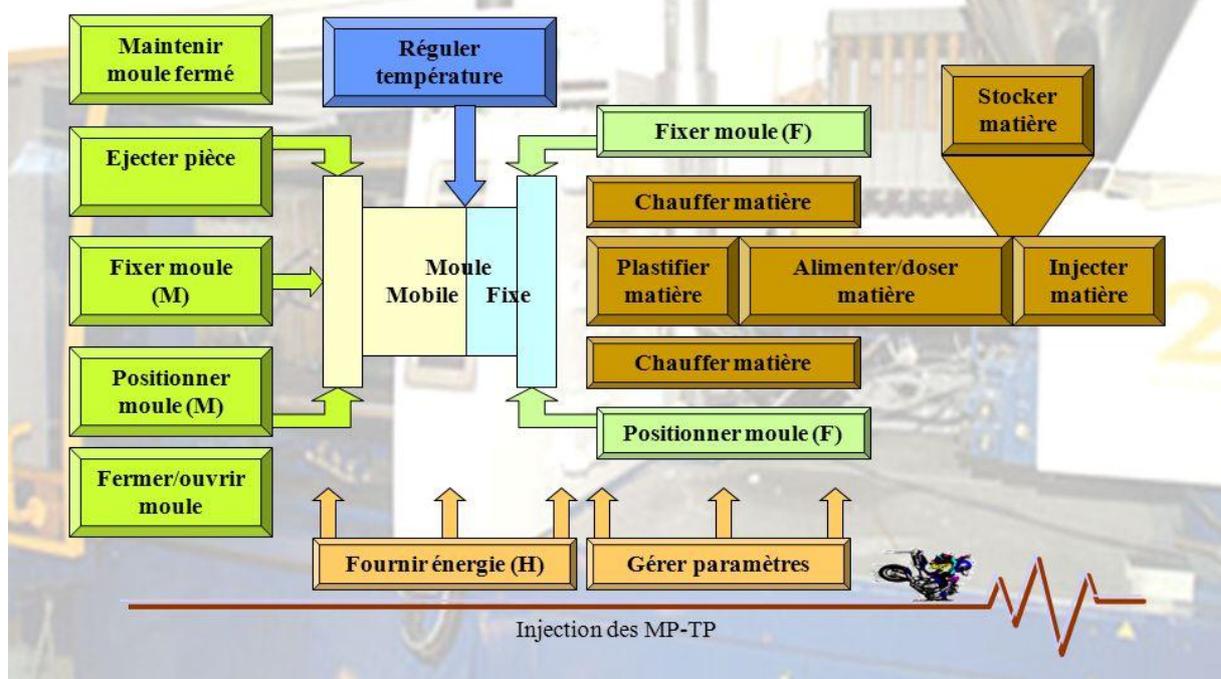


Figure I.15: Fonctions de presse.[8]

- **Types de machines du moulage par injection :** Il existe plusieurs types de machines du moulage par injection (Fig. I.16) : presse à injecter à piston, à vis de plastification, à injection multiple (à piston, à vis, à piston et à vis), etc.[8]

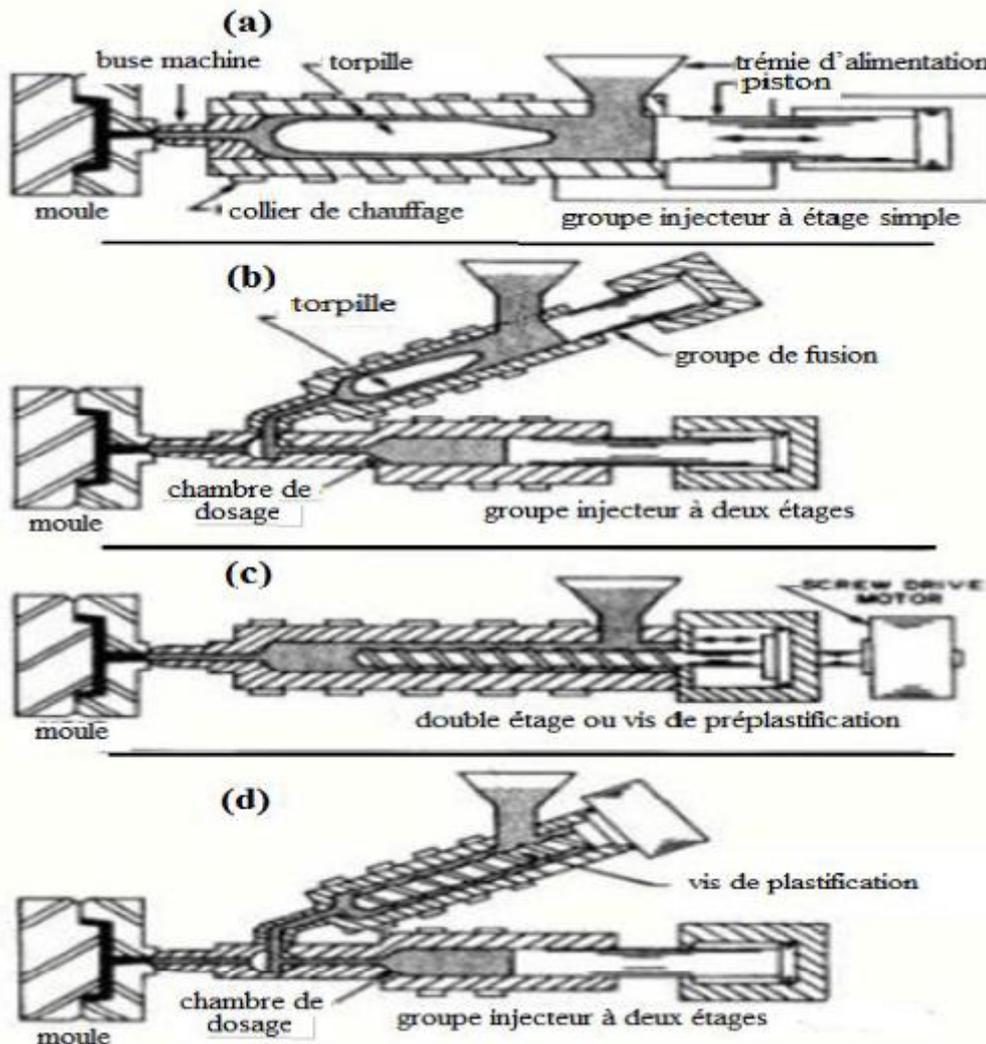


Figure I.16 : Exemples de différents systèmes de plastification de presse à injecter.[8]

10.1. Types de machine d'injection plastique

- **Machine d'injection verticale :**

Ce modèle de machine de moulage par injection est principalement dédié au moulage par injection sur les lignes de production de produits électroniques, d'ordinateurs, de prise d'alimentation, etc. Les produits réalisés n'ont pas d'exigences trop hautes envers le standard de

Chapitre I : Généralités sur l'injection plastique

précision. En général, on utilise le PVC (polychlorure de vinyle), le PE (polyéthylène) ou autre plastique d'injection comme milieu principal, les standards de modèles adaptés à ces produits ont en général une force de serrage de moule de 15T à 35T, etc. Comme les données concrètes des machines des diverses usines varient (capacité de moule, dispositifs, etc.), il est impératif que les paramètres concrets du modèle à acheter soit vérifié à l'usine avant l'achat.[8]



Figure I.17 : Machine d'injection verticale.[8]

- **Machine d'injection horizontale :**

Chapitre I : Généralités sur l'injection plastique

Machine de moulage par injection horizontale : c'est le type le plus courant. Sa partie de serrage de moule et d'injection se trouve à la même position horizontale au centre de la ligne et son moule s'ouvre horizontalement. Ses caractéristiques sont : un petit corps, facile à utiliser et réparer. Son barycentre est bas, son installation stable. Suite à la confection du produit, on peut utiliser la force gravitationnelle pour le faire descendre automatiquement. Opération entièrement automatisée facilement réalisable. Ses défauts sont : l'installation du moule est plutôt difficile, l'insertion de pièce peut incliner ou faire tomber le moule, la surface d'occupation du sol est plutôt grande. A présent, de nombreuses machines de moulage par injection sur le marché utilisent cette forme.[8]



Figure I.18 : Machine d'injection horizontale.[8]

11. LES MATIERES PLASTIQUES DE CONSTRUCTION :

- **Définition :**

Une substance est dite plastique lorsqu'elle se déforme sous l'action d'une force et conserve la forme acquise quand l'effort disparaît. Les matières plastiques sont des matières généralement solides, stables à l'état commercial, mais plastiques pendant leurs mise en

œuvre Actuellement, quand on parle de matières plastiques, il s'agit surtout de matières plastiques synthétiques. Au point de vue chimique, elles se distinguent par la grosseur des molécules, appelées < macromolécules > ou < molécules géantes > qui sont formées par des milliers et quelquefois des dizaines de milliers d'atomes. Leur masse moléculaire atteint des valeurs de l'ordre de 300 000".[9]

12. Caractéristiques générale :

- **Propriétés mécaniques :** Dans les plastiques, les forces responsables de la cohésion (forces électrostatiques) sont plus faibles que dans les métaux. Il en résulte que les propriétés mécaniques des pastiques sont, en général, inférieures à celles des métaux. Lorsque par nature ou à la suite de traitements mécaniques les macromolécules sont plus orientées. On trouve des valeurs plus grandes à ces caractéristiques mécaniques.[9]
- **Résistance à la rupture :** De 2 à 9 daN/mm² pour les thermodurcissables, elle peut atteindre 60 daN/mm² s'il y a renforcement par la fibre de verre. Pour les thermoplastiques, la valeur moyenne de 7 à 10 daN/mm² varie de 20 à 50 daN/mm² pour les polyamides.[9]
- **Elasticité :** La limite élastique est généralement mat définie sur les courbes de traction. L'augmentation de longueur correspondante est de quelques pour cent à la température ambiante. Pour les élastomères (caoutchouc) elle peut atteindre 1000 %.[9]
- **Module de Young :** Le module E varie de quelques centaines à 3 000 daN/mm² pour les polyesters.[9]
- **Résistance aux chocs :** Médiocre à moyen pour les thermodurcissables elle peut être bonne, voire très bonne, pour certains thermoplastiques (polyamides, silicones).[9]
- **Propriétés physiques :**

-Masse volumique : 1 a 1.7 kg/dm³ en valeur moyenne et pour les mousses de 0.5 a 0.015kg/dm³.

-Couleur naturelle : brune ou blanche modifiable par teinture

-Transparence ou opacité très variable : suivant qualité et épaisseur.

-Conductibilité chaleur et électricité : bon isolant en général.

-Température de fusion : au-dessus de 300 °C tous les plastiques sont liquides.[9]

13. Essais des matières plastiques :

Tout comme les métaux, les plastiques subissent des essais dans le but de définir leurs caractéristiques et de les classer.[9]

- **Résistance à la chaleur :**

- **Essai Martens :** Le degré MARTÈNS est la température pour laquelle la flèche prise est de 1,5 mm.
- **Essai Vicat :** Le degré VICAT mesure la température correspondant à l'enfoncement d'une flèche sous certaines conditions de charge et de temps.
- **Essai Schramm :** C'est un essai de résistance à la carbonisation, le degré Schramm correspondant sous certaines conditions à un poids de matière donnée.
- **Essais mécanique :** Ce sont des essais semblables à ceux effectués sur les métaux.
- **Essai de traction :** Il donne les caractéristiques classiques : R_m - R_e et A %.
- **Essai de résilience :** On mesure le produit : Énergie de rupture x Volume.
- **Essai de flexion :** Les conditions d'essai caractérisent l'énergie de résistance à la flexion.[9]

- **Classification thermique :**

- **Thermoplastiques :** Ils sont constitués de macromolécules linéaires ou tridimensionnelles de faibles dimensions. Leur plasticité peut être reprise plusieurs fois par des chauffages successifs. Exemple : Plongeons une lamelle de celluloïd dans de l'eau très chaude, elle se ramollit et peut être façonnée aisément. Après refroidissement elle reprend sa dureté primitive et garde sa nouvelle forme.[9]
- **Thermodurcissable :** Ils sont constitués de macromolécules tridimensionnelles. Ils durcissent progressivement quand on les chauffe, période pendant laquelle ils sont mis en forme. Contrairement aux thermoplastiques, d'autres chauffages non seulement ne les ramollissent pas mais tendent à les durcir. Citons comme exemple : la bakélite et les polyesters.[9]

Chapitre I : Généralités sur l'injection plastique

- **Adjuvant :** d'une manière générale les caractéristique des matières plastiques sont insuffisant pour une exploitation rationnelle et économique .les adjuvant sont des produits ajouté au résines pour accroitre certains propriétés favorisé la formation des macromolécules, donner un aspect esthétique (couleur, état de surface...). [9]

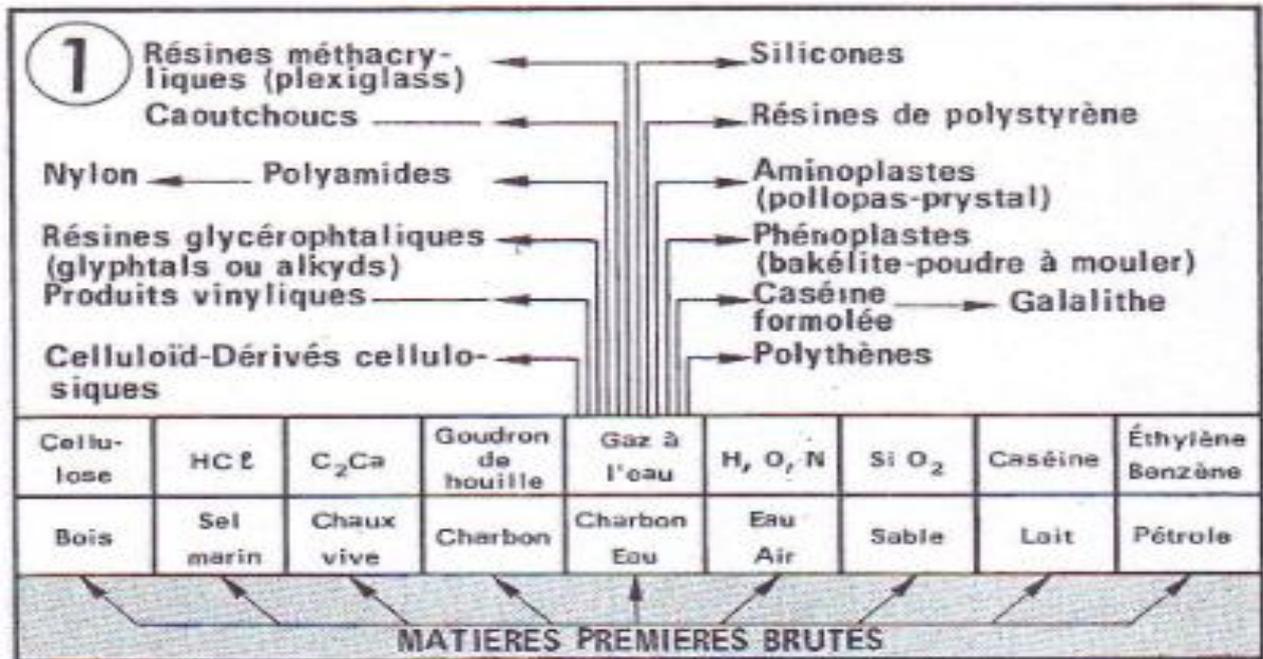


Tableau I.1 : Les grandes familles plastiques.

- **Plastifiants :**

Ils sont ajoutés uniquement aux poly plastes (thermoplastiques) dans le but d'améliorer leur fluidité à chaud. Leur proportion varie de 10 à 20 % de la masse macromoléculaire. Les plus utilisés sont le camphre, les huiles, le glycol (C₂H₆O₂).[9]

- **Charge :**

Additionnées aux thermoplastiques et presque toujours aux thermodurcissables leur double but est d'abaisser le prix de revient et d'améliorer la qualité. Leur proportion atteint couramment 50 % et peut même aller jusqu'à 90 %.[9]

- **Colorant 9 :**

Chapitre I : Généralités sur l'injection plastique

Ce sont généralement des oxydes métalliques ou parfois organiques ajoutés dans la proportion de 1 à 47 %.[9]

➤ **Accélérateurs-Catalyseurs :**

De 1 à 7 % pour activer la formation des macromolécules.[9]

➤ **Stabilisants:**

Ils ont pour but de maintenir dans le temps les propriétés acquises de la formation.[9]

➤ **Lubrifiant:**

Stéarine ou stéarates divers ajoutés pour faciliter le démoulage.[9]

➤ **Fongicides :**

Produit ajoutés pour lutter contre les moisissures. [9]

14. L'extrusion des thermoplastiques

14.1.Introduction:

Le procédé de l'extrusion a un impact fondamental dans le domaine de la mise en forme des thermoplastiques, spécialement les polymères fondus. Ce procédé, introduit dans le domaine industriel dans la deuxième guerre mondiale. L'exigence de la vie moderne a conduit les chercheurs d'améliorer continuellement ces procédés, afin de répondre mieux aux exigences du marché industriel, notamment la qualité des produits finis.

14.2.Domaine d'application

L'extrusion est un procédé utilisé pour la fabrication des profilés: joncs, plaques, films, gaines, sacs, fils, fibres à tisser, tubes; et pour le revêtement de supports variés et de câbles. Les profilés peuvent être composés de plusieurs couches de matières ou de couleurs différentes. La production de produits semi-finis extrudés représente 29% en poids de la transformation globale de matières plastiques.

La presque totalité des granulés thermoplastiques vendus sont extrudés sous forme de jonc puis découpés en granulés.[9]

14.3.Principe :

L'extrusion est une technique de fabrication en continu, Elle consiste à transporter, fondre, malaxer, plastifier, comprimer la matière thermoplastique dans une extrudeuse à l'aide d'une vis de plastification. Ensuite la matière plastifiée passe sous pression au travers de la filière pour donner la forme du profilé.

La matière chaude subit alors des opérations diverses visant à lui donner son aspect et sa forme définitive: soufflage (films, corps creux) ou conformation (tubes profilés), ou encore calandrage (feuilles plastiques, enduction). La matière est ensuite refroidie et figée dans sa forme définitive, soit dans l'air (gaine) soit dans l'eau (joncs, tubes, plaques, profilés, câbles), soit encore sur des cylindres refroidis (cas du film à plat et de l'enduction). [9]

Toutes les matières thermoplastiques peuvent être extrudées.



Figure I.19 : Ligne d'extrusion des thermoplastiques.

14.4.Description de chaque élément essentielle de l'extrudeuse

L'extrudeuse est formée de :

14.4.1. Corps de l'extrudeuse ou fourreau

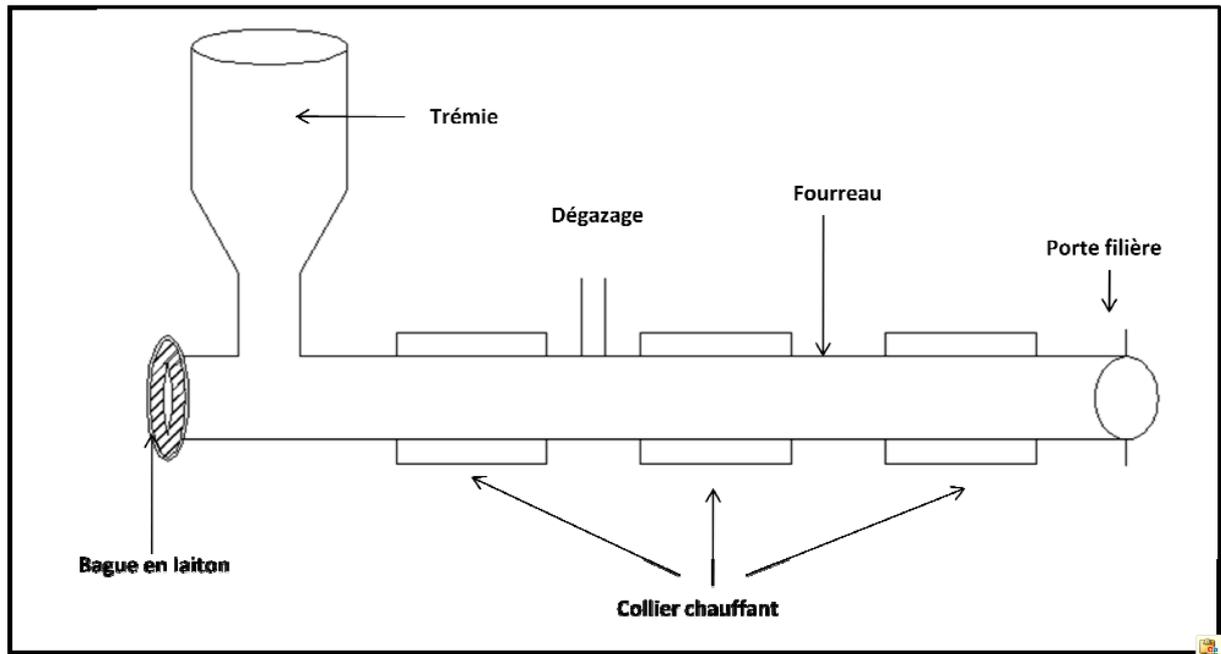


Figure I.20 : Fourreau et ses accessoires

Le fourreau est composé d'un tube en acier chemisé intérieurement. La chemise est en acier nitruré dans la plupart de temps, mais elle peut également être en acier inoxydable ou en alliage précieux tel que : nickel/aluminium, ou nickel/chrome/cobalt. Pour l'extrusion de copolymères de vinyle/chlorure de vinylidène, très sensible à la décomposition thermique, on utilisera souvent des corps en acier nickel/molybdène, ou même en nickel pur. L'intérieur du corps doit être soigneusement poli, pour éviter le collage des matières à extruder sur la surface du fourreau. Certains fabricants reviennent à une conception ancienne et qui avait été abandonnée le profit des cylindres lisses, aux cylindres à rainures longitudinales ou hélicoïdale.[10]

Dans le cas des extrudeuses à chaud, le fourreau est généralement entouré de plusieurs résistances chauffantes, souvent en céramique, assurant un chauffage progressif d'une extrémité à l'autre. Il peut être également chauffé à l'huile ou à la vapeur. A l'extérieur se trouve également un système de refroidissement (à eau ou à air), ainsi que le dispositif de mesure de température. Un calorifugeage (laine de verre) incorporé entre le fourreau et le capot en tôle limite les échanges thermiques avec l'extérieur et permet de réduire les pertes calorifiques.[10]

14.4.2. Dégazage :

Très souvent, et surtout dans le cas des extrudeuses multi vis, le corps possède à la moitié de sa longueur, un orifice par le quel peut dégazer l'air qui se trouve entre les granulés ou entre les particules des mélanges en poudre (dans le cas de la mise en œuvre des matières plastiques). Cet « air » est en effet libéré au début de la fusion du matériau plastique. Cet orifice est quelquefois relié à une pompe à vide pour accélérer l'extraction de l'air. Le gaz peut aussi venir de la décomposition thermique des polymères.[10]

14.4.3. Trémie d'alimentation :

L'orifice d'alimentation ne doit pas être une ouverture quelconque. La largeur et l'inclinaison de la paroi doivent être en relation avec le pas de la vis et son diamètre. La matière doit tomber tangentiellement sur la vis et non perpendiculairement. Toute la matière dans la trémie doit être absorbée par la vis, si non l'excédent cherchera un passage ailleurs, soit vers l'orifice d'alimentation ou soit vers la butée. Il faut donc proportionner le débit de l'alimentation à celui de la sortie.[10]

L'alimentation se fait par l'intermédiaire d'une trémie, dont on peut voir le contenu par des regards. Cette trémie est orientable pour permettre d'interrompre l'écoulement ou la vidange. L'ajout d'un agitateur, ou même d'une vis de forçage de la matière dans l'orifice d'alimentation, peut faciliter l'introduction du matériau dans l'extrudeuse.[10]

14.4.4. Chauffage : (en cas d'extrusion à chaud)

Le système de chauffage concerne uniquement l'extrusion à chaud. Les températures auxquelles doivent être portés les différents éléments d'une extrudeuse, varient avec la plasticité du produit. Il est évident, en effet, que chaque thermoplastique doit avoir une température optimale d'extrusion. Si la matière se trouve en dessous de cette température, le produit fini n'est pas homogène. Si elle est bien au-dessus, le thermoplastique est surchauffé, et il risque de se dégrader (décomposition ou dépolymérisation) et l'extrudât devient trop mou. C'est pourquoi la régulation de température est une fonction importante. A noter que pendant tout le parcours dans la vis, le thermoplastique est soumis aux effets conjugués de la chaleur du cylindre fournie par une source extérieure, et de la chaleur de friction due au frottement. Lorsqu'il est dans la filière, il ne reste plus pour le chauffage que la source extérieure.[10]

Pour les vis de longueur supérieure à 20D (20 fois le diamètre intérieur du fourreau) il existe quatre zones de chauffage, réglable individuellement :

Chapitre I : Généralités sur l'injection plastique

- Le premier niveau est le chauffage d'alimentation.
- La deuxième se situe sur le long de la vis, pour donner une adhérence des matières plastique (sur la vis) et permet ainsi la compression et l'homogénéisation des polymères.
- La troisième se trouve au niveau de la grille, à température plus élevée, pour la plastification.
- La quatrième est sur la filière pour : permettre un laminage final, donner la forme, et un polissage. La température dans cette zone doit être plus élevée.

Les systèmes de chauffage couramment utilisés dans l'industrie sont :

❖ **Le Chauffage électrique : (le plus simple)**

Le corps est entouré de plusieurs résistances chauffantes (souvent en céramique) qui donnent un chauffage progressif d'une extrémité de la vis à l'autre.[10]

La tête de la filière est chauffée par des colliers chauffants en lames de zinc ou de cuivre chemisant la résistance électrique et faisant contact avec la partie à chauffer. Ce système est avantageux car il permet une adaptation à différents diamètres.[10]

❖ **Le Chauffage par huile chaude :**

Avec une pression on peut atteindre des températures plus élevées. Le mouvement de l'huile est assuré par une pompe, un jeu de valve permet de faire passer à volonté l'huile dans un réchauffeur électrique ou dans un réfrigérant à eau.

Il existe d'autres systèmes de chauffage: comme le chauffage par eau chaude sous haute pression et le chauffage par Dowtherm (les liquides Dowtherm sont des liquides à haut point d'ébullition et dont leurs propriétés rhéologiques ne varient pas trop avec la température).

Les températures du cylindre et de la tête sont mesurées avec des thermocouples, dont les extrémités sensibles doivent se trouver contre la paroi intérieure, le plus près possible de la matière extrudée.[10]

14.4.5. Vis :

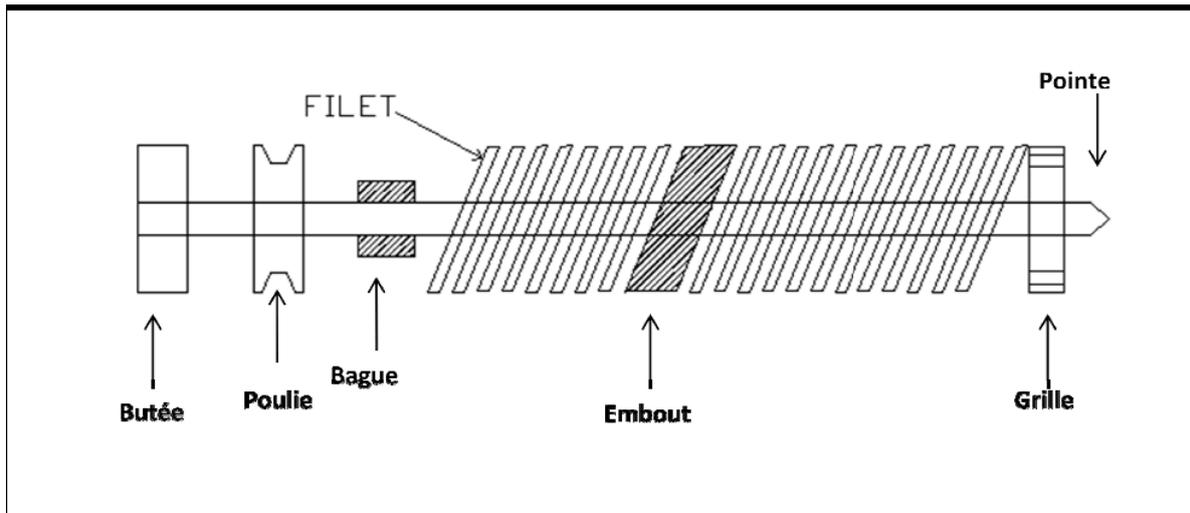


Figure I.21: Vis et ses accessoires

❖ Les fonctions

- De transporter la matière
- D'opérer son homogène que sa fluidification, par élévation de température
- De transmettre une contrepression à toute la matière.

C'est en quelque sorte le travail d'un laminoir et d'une presse à pression.

La vis se divise en trois parties (voir les différentes zones de la figure I.21)

Dont :

- La première partie (premier tiers) fera progresser la matière sans modification sensible des caractéristiques physiques.
- La partie centrale (deuxième tiers) amorcera les changements d'état physique par chauffage (passage de l'état solide à l'état liquide) à la montée en pression.
- C'est dans la troisième partie de la vis (troisième tiers) que la pression s'accroissant sous l'effet de la diminution de la profondeur des filets, la partie encore solide se désagrègera en petites particules, qui se mélangeront à la phase déjà fondue. Cette troisième partie de la vis assurera la mise en pression du mélange fluide, pour l'élever au taux de compression voulu [10]

❖ Géométrie du système vis/fourreau :

La géométrie de la vis est importante pour permettre à l'extrudeuse de travailler dans des conditions optimales en fonction de la matière utilisée. Le diamètre du corps de la vis est variable. Il augmente généralement de l'arrière à l'avant de la machine, soit sur toute la longueur, soit sur une partie seulement. Dans ce dernier cas, qui est le plus courant, on peut distinguer trois **zones géométriques** :

- la **zone d'alimentation**, où la profondeur du chenal est constante ;
- la **zone de compression et de fusion**, où la profondeur du chenal diminue progressivement ;[10]
- la **zone de pompage**, où la profondeur du chenal est à nouveau constante, mais plus faible qu'en alimentation. On trouve parfois dans cette zone de pompage des éléments de ménage.[10]

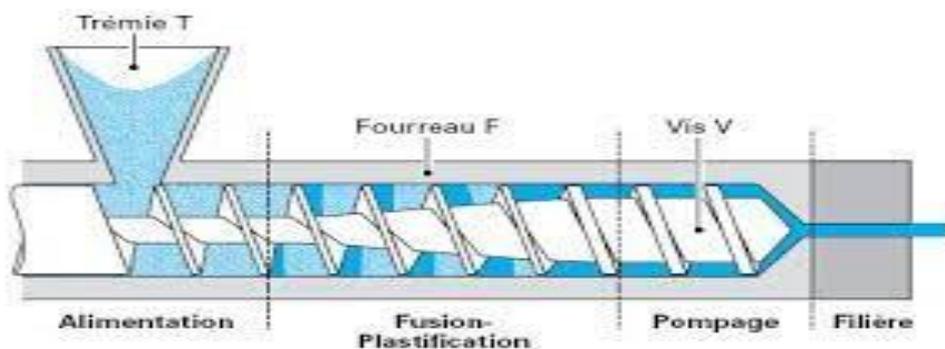


Figure I.21 : zones géométriques de la vis

Les vis sont conçues pour que la zone de compression s'identifie à la zone de fusion, mais ceci n'est en général pas vérifié pour toutes les conditions opératoires.[10]

14.4.6. Grille :

Une grille, en général en acier inoxydable, peut être interposée entre le bout de la vis et la filière. Elle est soumise à une forte pression très grande due au mouvement continu de la matière sur la vis. Sa fonction est non seulement de retenir les corps étrangers, mais aussi de parfaire l'homogénéisation. Différentes formes de grilles ont été proposées, mais la plus simple est constituée par des tiges percées de trous. Souvent, on utilise deux grilles identiques entre lesquelles on interpose des tamis en acier inoxydable à mailles de 60 ou de 80 μm . Bien que réduisant sensiblement le rendement par unité d'énergie, la grille et le tamis ont une action bénéfique sur le produit fini, car ils régularisent l'écoulement turbulent de la vis et alimentent la

filière d'une manière uniforme. L'effet du système grille-tamis varie avec la viscosité de la matière.[10]

14.4.7. Butée :

La vis tournant à l'intérieur du fourreau du cylindre, en présence du matériau à extruder, fournit une pression importante. Les composantes radiales de cette pression sont amorties par les parois épaisses du cylindre, et la composante axiale pousse, en avant, la matière dans la tête et la filière. Il existe toutefois une réaction égale et opposée à cette poussée-avant qui s'exerce sur la vis et qui peut dépasser 100 tonnes. Il faut donc prévoir un dispositif de butée de haute capacité à l'arrière de la vis. La vis est généralement clavetée à l'extrémité arrière et s'adapte dans un manchon tourne sur des roulements à billes, ou à galets, ou à rotule. Il supporte une butée transmettant la poussée de la vis directement sur la cage de roulements.[10]

Les butées fonctionnent dans des conditions assez pénibles. Il est prévu, en général le montage d'une pompe à circulation d'huile assurant un écoulement constant de l'huile dans les roulements, pour dissiper l'échauffement de la butée.[10]

14.4.8. Tête – Filière :

On distingue deux sortes de têtes :

- ❖ La tête droite, laissant sortir le profilé dans le prolongement de la vis ;
- ❖ La tête d'équerre, dont le but est d'orienter le flux de matière à extruder perpendiculairement à l'axe de la vis, soit dans le plan horizontal, soit dans le plan vertical. Les filières dépendent évidemment de la forme du profil, Têtes et filières seront étudiées dans les chapitres qui suivent, relatifs aux diverses variantes de l'extrusion, c'est à dire :
 - extrusion de tubes et profiles (tête droite),
 - extrusion de plaques et films (tête droite),
 - extrusion-soufflage de gaines (tête d'équerre),
 - extrusion –soufflage de mono filaments (tête droite),
 - extrusion-soufflage de corps creux (tête d'équerre),
 - extrusion-gainage de câbles électriques (tête d'équerre),
 - extrusion-granulation (tête droite).[10]

14.4.9. Un moteur électrique :

La fonction du moteur est de faire tourner la vis et de donner la puissance nécessaire pour évacuer les matières extrudées. La transmission de l'énergie mécanique, fournie par ce moteur à l'extrudeuse, se fait par l'intermédiaire d'une courroie ou bien d'une transmission.

Souvent, on utilise des réducteurs de vitesse pour régler la puissance requise et surtout la vitesse angulaire de la vis.[10]

14.5.Types d'extrudeuses existant : On distingue deux grandes familles d'extrudeuses : les extrudeuses monovis et les extrudeuses bivis. Une extrudeuse monovis est constituée d'une vis unique alors qu'une extrudeuse bivis comporte deux vis sans fin tournant à l'intérieur du fourreau.

14.5.1. Extrudeuse monovis :

Une extrudeuse est essentiellement constituée d'un fourreau cylindrique en acier de haute résistance dans lequel vient tourner une vis entraînée en rotation par un moto-variateur. Cet ensemble vis fourreau est thermo-régulé par un ensemble de résistances électriques ou par circulation de fluide. La matière est introduite dans la trémie qui s'ouvre sur le fourreau à l'entrée de la vis et celle-ci la pousse de façon continue jusqu'à la filière.[11]

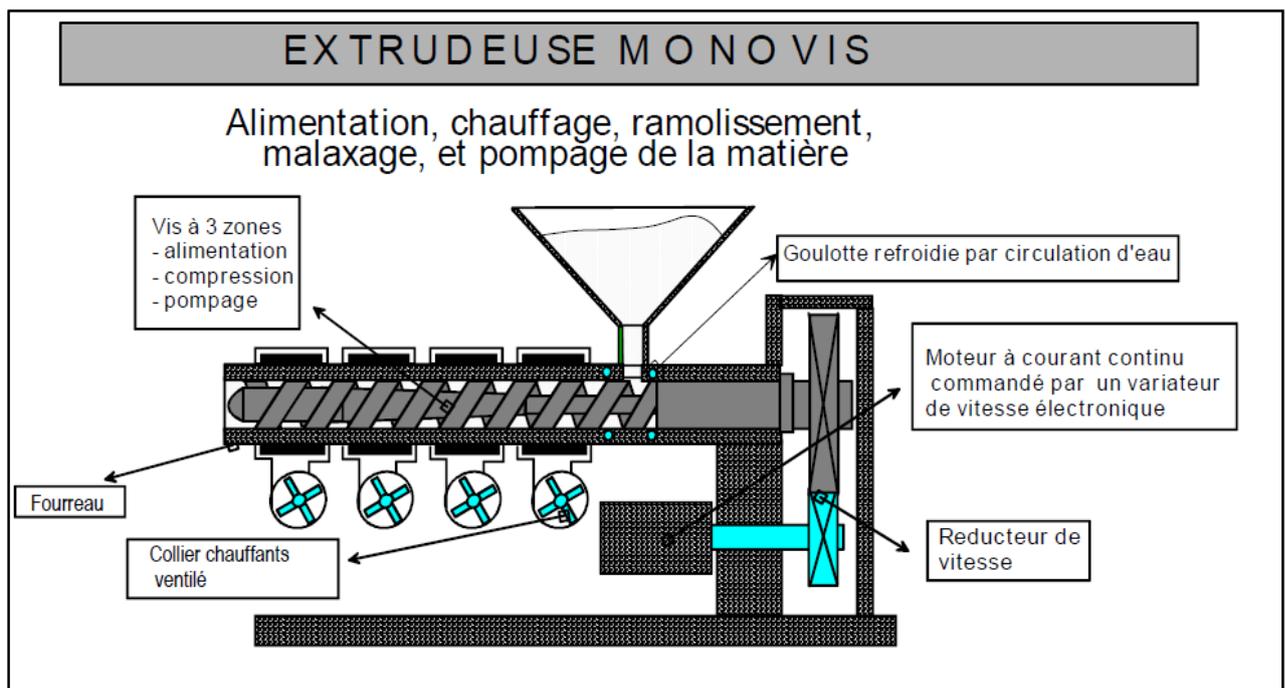


Figure I.22 : description schématique d'une Extrudeuse MONOVIS.

14.5.2. Extrudeuse Bi-vis : Elle comporte deux vis identiques compénétrâtes tournant dans le même sens, à l'intérieur d'un fourreau. Le mode d'action est le même que précédemment.

Il existe deux types d'extrudeuses bi-vis:

- **Extrudeuses bi-vis Co-rotatives:** Les vis tournent dans le même sens et ont le même sens de filet. Le trajet en "8" ouvert, fait des extrudeuses bi-vis co-rotatives des machines bien adaptées au compoundage car elles privilégient plutôt le malaxage de la matière que la montée en pression.[11]

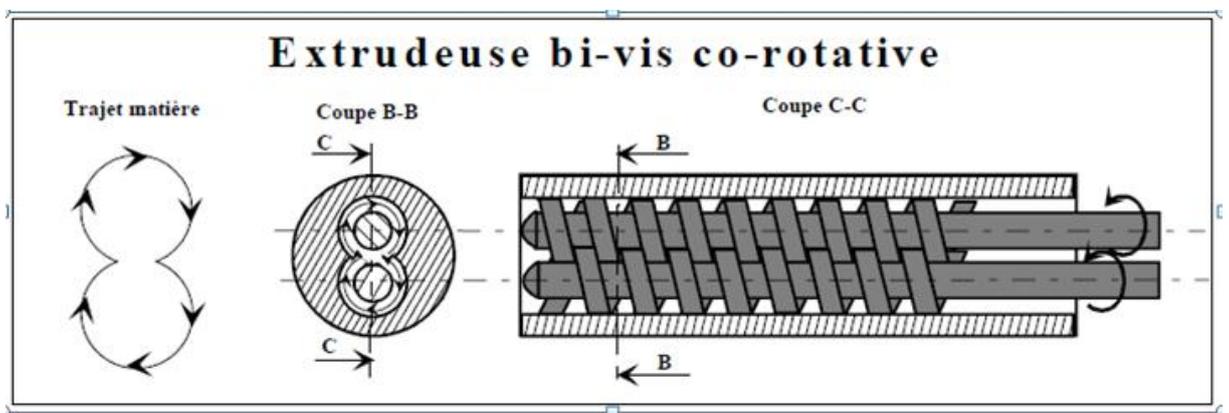


Figure I.23 : Schéma d'une extrudeuse bi-vis Co-rotatives.[11]

- **Extrudeuses bi-vis contrarotatives:** les deux vis tournent en sens inverse. La matière est enfermée dans un espace en forme de "C" Elle subit un cisaillement et une montée en pression très importante.[11]

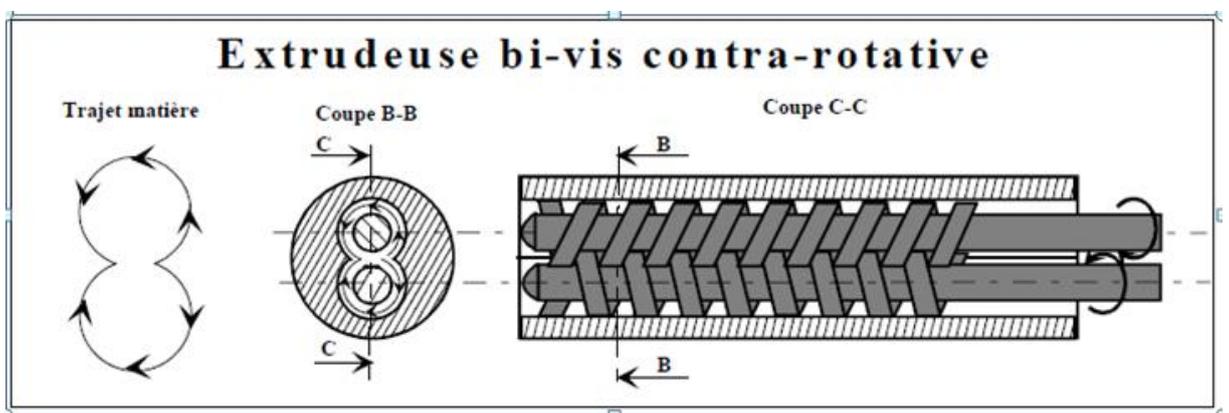


Figure I.24 : Schéma d'une extrudeuse bi-vis Co.[11]

14.6. Les matières plastiques qu'on peut fabriquer avec l'extrusion :

À partir d'un matériau sous forme de granulés ou de poudre, le plus souvent thermoplastique, on produit en continu des pièces de grande longueur : profilés **pour** portes **et** fenêtres, tuyaux, câbles, tubes, feuilles, films, fibres textiles, plaques, joncs, etc., et puisque la matière qui nous intéresse dans ce projet c'est le PPR (**Polypropylène Random**) pour fabriquer des tuyaux on va vous présenter cette dernière : [11]

14.6.1. C'est quoi le tuyau de PPR:

Le PPR (**Polypropylène Random**) est un copolymère statistique de polypropylène synthétisé par une méthode en phase vapeur (PP (**polypropylène**) et PE (**polyéthylène**)). Sa caractéristique structurelle est que les molécules de PE (**polyéthylène**) sont liées de manière aléatoire à des molécules de PP (**polypropylène**) avec des poids moléculaires allant de 300 000 à 800 000. Le matériau de tuyauterie produit par PPR (**Polypropylène Random**) est également appelé tube de polypropylène copolymérisé aléatoire, qui est un produit de tuyauterie en plastique développé et appliqué à la fin des années 1980 et au début des années 90. Grâce à ses excellentes performances et à un large éventail d'applications, il occupe une place sur le marché des tubes plastiques et est reconnu comme un produit de protection de l'environnement vert. Mais au cours des dernières années, l'opération de marché, l'analyse des problèmes de qualité des **tuyaux en plastique PPR** ci-dessus, a révélé que le marché des tuyaux PPR (**Polypropylène Random**) a de nombreux problèmes, ces problèmes ont dans une large mesure restreint le développement bénin du tuyau PPR (**Polypropylène Random**). [11]



Figure I.25: granulés PP.



Figure I.26 :tubes en PPR

Chapitre I : Généralités sur l'injection plastique

On l'utilise pour le transport des eaux chaudes ou froides, le chauffage, l'air comprimé et même le transfert de produits corrosifs.

14.6.2. Avantages des tubes PPR (Polypropylène Random) :

- Sa surface interne est lisse et empêche l'incrustation de calcaire
- plus besoin de faire un dégorgement canalisation
- Sa faible conductivité thermique améliore le transport des eaux chaudes
- résistance comparable au tube métallique
- facilité de pliage
- excellente résistance à haute température
- , haute pression et résistance à la corrosion
- Bonne ignifugation
- bonne isolation thermique et conservation de la chaleur.
- La performance de conservation de la chaleur et de la chaleur est bonne, elle peut être utilisée pendant longtemps à 70 ° C et la température d'utilisation instantanée est de 95 ° C, ce qui répond parfaitement aux exigences de l'eau de chauffage dans le bâtiment.[11]



Figure I.27 : installation des tubes en PPR (Polypropylène Random) [11].

Chapitre I : Généralités sur l'injection plastique

RP20-1	 PPR pipe 4M PN10/S5	20×2.0	RP20-2	 PPR pipe 4M PN12.5/S4	20×2.3
RP25-1		25×2.3	RP25-2		25×2.8
RP32-1		32×2.9	RP32-2		32×3.6
RP40-1		40×3.7	RP40-2		40×4.5
RP50-1		50×4.6	RP50-2		50×5.6
RP63-1		63×5.8	RP63-2		63×7.1
RP75-1		75×6.9	RP75-2		75×8.4
RP90-1		90×8.2	RP90-2		90×10.1
RP110-1		110×10	RP110-2		110×12.3
RP160-1		160×14.6	RP160-2		160×17.9
RP20-3		 PPR pipe 4M PN16/S3.2	20×2.8		RP20-4
RP25-3	25×3.5		RP25-4	25×4.2	
RP32-3	32×4.4		RP32-4	32×5.4	
RP40-3	40×5.5		RP40-4	40×6.7	
RP50-3	50×6.9		RP50-4	50×8.3	
RP63-3	63×8.6		RP63-4	63×10.5	
RP75-3	75×10.3		RP75-4	75×12.5	
RP90-3	90×12.3		RP90-4	90×15.0	
RP110-3	110×15.1		RP110-4	110×18.3	
RP160-3	160×21.9		RP160-4	160×26.6	

Tableau I.2 : Liste des tailles de tuyaux en polypropylène PPR (Polypropylène Random).[11]

Conclusion

L'extrusion est un procédé industriel de mise en forme des matériaux. Les matériaux à extruder sont convoyés et montés en pression par une vis (extrudeuse monovis) ou deux (extrudeuse bivis) jusqu'à la filière qui leur donne la forme définitive. Les effets conjoints de la température du fourreau et les chaleurs de friction développées par la rotation de la vis entraînent l'échauffement de l'ensemble. Dans certains cas, ces échauffements sont bénéfiques au procédé (extrusion à chaud : fusion du polymère en cas des plastiques) mais dans d'autre cas il faut évacuer cette chaleur car elle décompose et modifie le comportement rhéologique des matériaux à extruder.

Chapitre I : Généralités sur l'injection plastique

Il existe plusieurs types de matériaux qu'on peut extruder. Nous nous sommes contentés uniquement sur le PET, le PE et les pates alimentaires. En effet, notre objectif est de recycler les bouteilles plastiques usées et que les pates alimentaire sont des applications courantes de l'extrusion à froid dans le domaine agroalimentaire.

Chapitre II

Calcul et dimensionnement de la vis d'extrusion

Chapitre II : calcul et dimensionnement de la vis de plastification

1. Introduction

. Dans ce chapitre on va dimensionner la vis d'une mini extrudeuse Mano-vice distingué a recyclé les déchets industriels de l'entreprise SARL Silex Plast, ces derniers viennent du bourrage des granulés a l'intérieur de la vise d'extrusion causé soit lors de la chute de la température des résistances, soit par un problème technique ou bien dans les premières temps de fonctionnement de la ligne de production.



Figure II.1 : granulé de matière PP (polymère polypropylène)

2. Présentation de l'entreprise :

SARL Silex Plast est une unité de production liée à l'entreprise principale Sarl Silex Services. Son projet consiste à transformer la matière en plastique pour avoir des tubes et des accessoires en PPR destinée essentiellement aux installations sanitaires, chaufferies centrales, et plomberie générale, ainsi à court terme le feuillard en plastique, Polyester (PET) et en Polypropylène (PP) pour tous les besoins de cerclage et d'emballage industriel. L'entreprise prévoit de développer encore plus dans un avenir proche son activité de la production des bouchons pour briques tetrapack et paille à boire tetrapack qui est un produit 100 % importé par les producteurs de boissons en Algérie, leur but c'est de conquérir avec une large gamme de produits dans le monde de la plasturgie.



Figure II.2 : entreprise Silex Plast

3. Géométrie

Les éléments géométriques essentiels de la vis d'Archimède sont indiqués sur la figure III.3 Les paramètres suffisent à définir cette géométrie sont

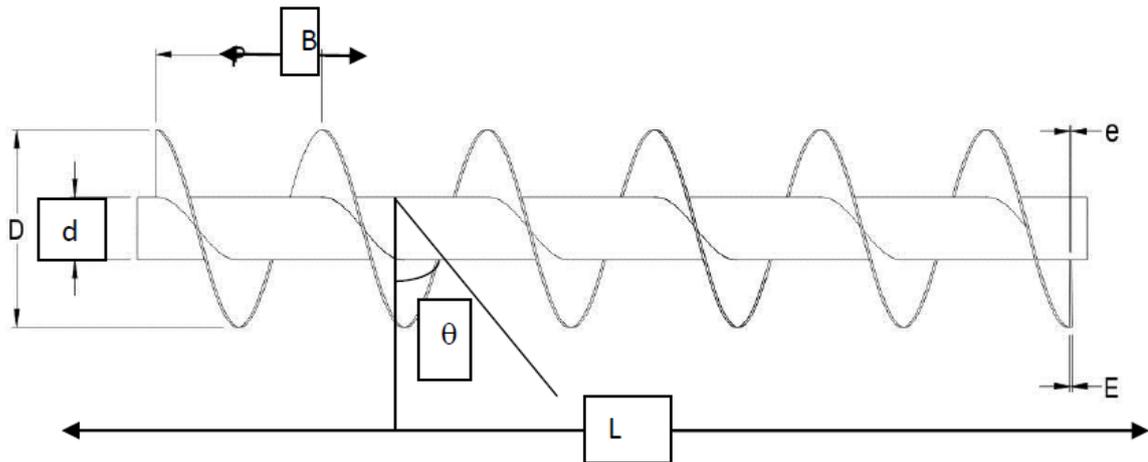


Figure II.3. : Géométrie de la vis avec âme.

- Le diamètre de la vis : **D**,
- Le diamètre de l'arbre : **d**,
- Le pas de la vis : **B**,
- L'épaisseur du filet : **e**
- Longueur de la vis : **L**
- Angle d'inclinaison du filet : **θ**

4. Matériau

4.1. Acier Inox 304 (Acier Inoxydable AISI 304)

L'acier inox 304 (UNS S30400) est l'acier inoxydable le plus largement utilisé, contenant 18-20 % de Cr et 8-10.5 % de Ni, également connu sous le nom d'acier inoxydable 18-8. L'acier inoxydable 304 est non magnétique dans des conditions de recuit, mais après un travail à froid (comme l'emboutissage, l'étirage, le pliage, le laminage), une partie de la structure austénitique peut être convertie en martensite et donc faiblement magnétique. La matière AISI 304 a une bonne résistance à la corrosion atmosphérique et à l'oxydation. La teneur élevée en alliage

nickel-chrome lui confère une excellente résistance à la corrosion et est largement utilisé dans l'industrie alimentaire comme acier inoxydable de qualité alimentaire standard.

Il existe plusieurs variantes d'acier inoxydable 304, telles que la version à très faible teneur en carbone de inox 304L, la version contenant de l'azote 304N, 304H avec des performances de fluage améliorées et le type 302 avec une teneur en carbone plus élevée. Le deuxième [acier inoxydable 316](#) le plus utilisé, par rapport à l'acier inox AISI 304, réduit la teneur en chrome, augmente la teneur en nickel et ajoute 2 à 3 % de molybdène. L'ajout de molybdène peut améliorer la résistance à la corrosion par piqûres et crevasses causée par le chlorure. Par conséquent, inox 316 est largement utilisé dans les applications marines. [12]

4.2. Acier Inox 304 Fiche Technique (Propriétés)

La densité de l'acier inox 304 est de 7930 kg/m³ (0,286 lb/in³), le point de fusion est de 1400-1450 °C (2550-2650 °F), la limite d'élasticité de 0,2 % est ≥ 205 MPa, la résistance à la traction est ≥ 515 MPa.

Les tableaux suivants donnent l'acier inox 304 fiche technique et les propriétés, y compris la composition chimique, les propriétés physiques et mécaniques, le traitement thermique, la résistance à la corrosion, l'usinabilité et l'usinage, le soudage, etc.

4.3. Composition Chimique

La composition chimique de l'acier inox AISI 304 est répertoriée dans le fiche technique suivant.

Composition chimique en acier inoxydable AISI 304, %									
ASTM Norme	AISI (UNS)	C, \leq	Si, \leq	Mn, \leq	P, \leq	S, \leq	Cr	Ni	N, \leq
ASTM A240/A240M	304 (UNS S30400)	0.07	0.75	2.00	0.045	0.03	17.5-19.5	8.0-10.5	0.1
ASTM A276/A276M		0.08	1.00	2.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-11.0	–
ASTM 666; SAE J405		0.08	0.75	2.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-10.5	0.1
ASTM A313/A313M		0.08	1.00	2.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-10.5	0.1
ASTM A479/A479M		0.08	1.00	2.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-10.5	–
ASTM A314; ASTM A580/A580M		0.08	1.00	2.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-10.5	0.1
ASTM A473		0.08	1.00	2.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-11.0	0.1
ASTM A959		0.07	1.00	2.00	0.045	0.03	17.5-19.5	8.0-11.0	–

Tableau II.1 : composition chimique de notre acier. [12]

Remarque:

- **ASTM A240/A240M**: Plaques, tôles et bandes en acier inoxydable au chrome et au chrome-nickel pour récipients sous pression et pour applications générales
- **ASTM A276/A276M**: Barres et formes en acier inoxydable
- **ASTM A313/A313M**: Fil à ressort en acier inoxydable
- **ASTM A314**: Billettes et barres en acier inoxydable pour le forgeage
- **ASTM A473**: Pièces forgées en acier inoxydable
- **ASTM A479/A479M**: Barres et formes en acier inoxydable pour utilisation dans les chaudières et autres récipients sous pression
- **ASTM A580/A580M**: Fil d'acier inoxydable
- **ASTM 666**: Tôle, bande, plaque et barre plate en acier inoxydable austénitique recuit ou travaillé à froid
- **ASTM A959**: Guide standard pour la spécification des compositions de nuances standard harmonisées pour les aciers inoxydables corroyés
- **SAE J405**: Composition chimique des aciers inoxydables forgés SAE

4.4. Propriétés Physiques

Les propriétés physiques de l'acier inoxydable AISI 304 sont répertoriées dans le fiche technique ci-dessous, telles que la densité, le point de fusion, la chaleur spécifique, la résistivité électrique, le module élastique (module d'élasticité), la conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique.

Remarque:

- $1 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} = 1 \mu\Omega \cdot \text{m}$
- $1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $1 \text{ GPa} = 1 \text{ kN/mm}^2$
- $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$

Propriétés physiques de l'acier inoxydable AISI 304	Métrique	Impérial
Densité	7.93 g/cm ³	0.286 lb/in ³
Point de fusion	1400-1450 °C	2550-2650 °F
La capacité thermique spécifique	500 J/kg·K à 20 °C	0.12 Btu/lb·°F à 68 °F
Résistivité électrique	0.72 μΩ·m à 20 °C	28.35 μΩ·in. à 68 °F
Conductivité, %, IACS	2.5	–
Perméabilité magnétique	1.02 (Approximatif)	–
Module d'élasticité	193 GPa	28 x 10 ⁵ psi
Diffusivité thermique	3.84 mm ² /s	0.006 in ² /s
Conductivité thermique	16.2 W/m·K à 100 °C	9.4 Btu/ft·h·°F à 212 °F
	21.5 W/m·K à 500 °C	12.4 Btu/ft·h·°F à 932 °F
Coefficient de dilatation thermique	17.2 10 ⁻⁶ /K à 0-100 °C	9.6 μin./in.·°F à 32-212 °F
	17.8 10 ⁻⁶ /K à 0-315 °C	9.9 μin./in.·°F à 32-600 °F
	18.4 10 ⁻⁶ /K à 0-538 °C	10.2 μin./in.·°F à 32-1000 °F

Tableau II.2 : propriété physique de l'acier inox 304. [12]

4.5. Acier Inox 304 Caractéristiques Mécaniques

Les caractéristiques mécaniques de l'acier inox AISI 304 sont données dans la fiche technique ci-dessous, y compris la résistance à la traction, la limite d'élasticité, l'allongement, la réduction de surface, la dureté Brinell et Rockwell, etc.

Caractéristiques mécaniques de l'acier inox AISI 304 selon ASTM A276						
ASTM	AISI (UNS)	Résistance à la traction, Mpa (ksi), ≥	0.2% Limite d'élasticité, Mpa (ksi), ≥	Allongement en 2 pouces (50 mm), %, ≥	Réduction de la superficie, %, ≥	Conditions
ASTM A276/A276M	304 (S30400), 304LN (S30453)	515 (75)	205 (30)	40	50	Recuit, fini à chaud
		620 (90)	310 (45)	30	40	Recuit, fini à froid, Dia ≤ 1/2 in (12.7mm)
		515 (75)	205 (30)	30	40	Recuit, fini à froid, Dia > 1/2 in (12.7mm)

Tableau II.3 : caractéristique mécanique de l'inox 304

Propriétés mécaniques de l'acier AISI 304 selon ASTM A240						
ASTM	AISI (UNS)	Résistance à la traction, Mpa (ksi), ≥	0.2% Limite d'élasticité, Mpa (ksi), ≥	Allongement en 2 pouces (50 mm), %, ≥	Dureté Brinell, HB, ≤	Dureté Rockwell, HRB, ≤
ASTM A240/A240M	304 (S30400)	515 (75)	205 (30)	40	201	92

Tableau II.4 : propriété mécanique de l'inox 304. [12]

Exigences de résistance à la traction du fil à ressort en acier inoxydable 304 selon ASTM A313				
Diamètre (d), in.	Diamètre (d), mm	Test de pliage, nombre minimum de coudes	ksi	MPa
≤0.009	≤0.23	–	325-355	2240-2450
0.009<d≤0.010	0.23<d≤0.25	–	320-350	2205-2415
0.010<d≤0.011	0.25<d≤0.28	–	318-348	2190-2400
0.011<d≤0.012	0.28<d≤0.30	–	316-346	2180-2385
0.012<d≤0.013	0.30<d≤0.33	–	314-344	2165-2370
0.013<d≤0.014	0.33<d≤0.36	–	312-342	2150-2360
0.014<d≤0.015	0.36<d≤0.38	–	310-340	2135-2345
0.015<d≤0.016	0.38<d≤0.41	–	308-338	2125-2330
0.016<d≤0.017	0.41<d≤0.43	–	306-336	2110-2315
0.017<d≤0.018	0.43<d≤0.46	–	304-334	2095-2300
0.018<d≤0.020	0.46<d≤0.51	–	300-330	2070-2275
0.020<d≤0.022	0.51<d≤0.56	–	296-326	2040-2250
0.022<d≤0.024	0.56<d≤0.61	–	292-322	2015-2220
0.024<d≤0.026	0.61<d≤0.66	–	291-320	2005-2205
0.026<d≤0.028	0.66<d≤0.71	8	289-318	1995-2190
0.026<d≤0.028	0.66<d≤0.71	8	289-318	1995-2190
0.028<d≤0.031	0.71<d≤0.79	8	285-315	1965-2170
0.031<d≤0.034	0.79<d≤0.86	8	282-310	1945-2135
0.034<d≤0.037	0.86<d≤0.94	8	280-308	1930-2125
0.037<d≤0.041	0.94<d≤1.04	8	275-304	1895-2095
0.041<d≤0.045	1.04<d≤1.14	8	272-300	1875-2070
0.045<d≤0.050	1.14<d≤1.27	8	267-295	1840-2035
0.050<d≤0.054	1.27<d≤1.37	8	265-293	1825-2020
0.054<d≤0.058	1.37<d≤1.47	7	261-289	1800-1990
0.058<d≤0.063	1.47<d≤1.60	7	258-285	1780-1965
0.063<d≤0.070	1.60<d≤1.78	7	252-281	1735-1935
0.070<d≤0.075	1.78<d≤1.90	7	250-278	1725-1915
0.075<d≤0.080	1.90<d≤2.03	7	246-275	1695-1895
0.080<d≤0.087	2.03<d≤2.21	7	242-271	1670-1870
0.087<d≤0.095	2.21<d≤2.41	7	238-268	1640-1850
0.095<d≤0.105	2.41<d≤2.67	5	232-262	1600-1805
0.105<d≤0.115	2.67<d≤2.92	5	227-257	1565-1770

0.115<d≤0.125	2.92<d≤3.17	5	222-253	1530-1745
0.125<d≤0.135	3.17<d≤3.43	3	217-248	1495-1710
0.135<d≤0.148	3.43<d≤3.76	3	210-241	1450-1660
0.148<d≤0.162	3.76<d≤4.11	3	205-235	1415-1620
0.162<d≤0.177	4.11<d≤4.50	3	198-228	1365-1570
0.177<d≤0.192	4.50<d≤4.88	1	194-225	1335-1550
0.192<d≤0.207	4.88<d≤5.26	1	188-220	1295-1515
0.207<d≤0.225	5.26<d≤5.72	1	182-214	1255-1475
0.225<d≤0.250	5.72<d≤6.35	1	175-205	1205-1415
0.250<d≤0.278	6.35<d≤7.06	1	168-198	1160-1365
0.278<d≤0.306	7.06<d≤7.77	1	161-192	1110-1325
0.306<d≤0.331	7.77<d≤8.41	1	155-186	1070-1280
0.331<d≤0.362	8.41<d≤9.19	1	150-180	1035-1240
0.362<d≤0.394	9.19<d≤10.00	1	145-175	1000-1205
0.394<d≤0.438	10.00<d≤11.12	1	140-170	965-1170
0.438<d≤0.500	11.12<d≤12.70	1	135-165	930-1140
>0.500	>12.70	–	130-160	895-1105

Lorsque le fil est spécifié en longueurs redressées et coupées, la résistance à la traction minimale doit être de 90 % des valeurs indiquées dans le tableau.

Tableau II.5 : résistance à la traction de notre acier. [12]

4.6. Résistance à la Chaleur en Acier Inox 304

Température maximale de service dans l'air		
AISI	Service intermittent	Service continu
304	870 °C (1600 °F)	925 °C (1700 °F)

Tableau II.6 : résistance à la chaleur

4.7. Durcissement

L'austénite conventionnelle telle que l'acier inoxydable AISI 304 ne peut pas être durcie par traitement thermique, car elle ne changera pas sa structure de réseau cristallin lorsqu'elle est chauffée, de sorte qu'elle ne peut être durcie que par travail à froid. L'écrouissage transformera une partie de l'austénite en martensite. À mesure que la quantité de martensite dans l'acier augmente, sa résistance augmente et sa plasticité diminue. [12]

4.8. Soudage de l'acier inoxydable 304

L'acier inoxydable 304 a une excellente soudabilité et ne nécessite pas de préchauffage. Généralement, le traitement thermique post-soudage n'est pas nécessaire à moins que de grandes sections transversales ne soient soudées, ou une détérioration de la soudure peut se produire.

Pour éviter la dégradation de la soudure, veuillez vous référer au traitement thermique-réduction des contraintes, ou recommander l'utilisation d'acier inoxydable à très faible teneur en carbone tel que 304L, ou d'acier inoxydable stabilisé 321, 347.

Métal d'apport pour le soudage de l'acier inoxydable AISI 304: E308, E309. Lorsque la température de service est de 370°C (700°F), E308L peut être utilisé.

4.9. Applications Typiques

L'acier inox AISI 304 est largement utilisé dans l'industrie alimentaire, les appareils électroménagers et l'électronique grand public, les équipements médicaux, la décoration architecturale, les outils de quincaillerie, l'industrie automobile, la pétrochimie, les usines de traitement de l'eau, l'aérospatiale, etc. La liste suivante montre les utilisations typiques dans diverses industries :

- Industrie alimentaire: vaisselle et ustensiles de cuisine tels que woks en acier inoxydable, cuiseurs à vapeur, casseroles, fourchettes, baguettes, plaques de cuisson, grilles de barbecue, contenants pour produits laitiers, paniers de stérilisation.
- Appareils électroniques: 304 doublures de bouilloire électrique, tambour de machine à laver, coque de montre et de téléphone portable, four à micro-ondes, couvercle de hotte, armoire de commande, boîtier de pompe à eau, etc.
- Matériel médical: armoires médicales, chariots médicaux, conteneur de stérilisation, table de travail, etc. Outils de quincaillerie: vis et écrous en acier

inoxydable, ressort en acier, tissu de quincaillerie, moustiquaires, ciseaux, robinets, pommes de douche, écran de sécurité ;

- Usines de traitement d'eau: vannes, brides, conduites d'eau, équipements de purification d'eau. Industrie pétrochimique: équipements de filtration, oléoducs et gazoducs. [12]

4.10. Matière Équivalent AISI 304

Les matières équivalentes en acier inoxydable 304 sont répertoriées dans le tableau ci-dessous, y compris les normes européennes EN (Allemagne DIN, BSI britannique, NF française...), ISO, JIS japonaise et GB chinoise (pour référence).

Matière équivalent en acier inox AISI 304												
US		Union Européenne		Allemagne		Grande-Bretagne (Royaume-Uni)		ISO		Japon		Chine
Norme	Nuance d'acier (UNS)	Norme	Nuance d'acier (Steel Number)	Norme	Nuance d'acier (Numéro de matière)	Norme	Nuance d'acier (Numéro de matière)	Norme	Nuance d'acier	Norme	Nuance d'acier	Norme
AISI, SAE, ASTM	304 (S30400)	EN 10088-2; EN 10088-3	X5CrNi18-10 (1.4301)	DIN EN 10088-2; DIN 17440	X5CrNi18-10 (1.4301)	BS EN 10088-2; BS970 :1996	X5CrNi18-10 (1.4301); 304S15, 304S31	ISO 15510	X5CrNi18-10	JIS G4304	SUS304	GB/T 1220; GB/T 3280

Tableau II.7 : matière équivalent. [12]

5. Calcul des hélices

5.1. Profondeur et largeur du chenal

Le diamètre de la vis (D) et le diamètre de l'arbre (d) permettent de calculer la profondeur de chenal

$$H = \frac{D-d}{2} \tag{II.1}$$

5.2. La largeur du chenal peut être décrite par :

$$W = B \cos \theta - e \tag{II.2}$$

5.3. L'angle d'inclinaison du filet

Le pas détermine l'angle θ que fait le filet avec un plan perpendiculaire à l'axe de la vis. En effet cet angle θ varie avec la distance à l'axe de la vis, mais si la profondeur du chenal est faible par rapport au diamètre de la vis (ce qui est généralement le cas), on se contente d'une valeur unique, prise au niveau du fourreau :

$$\tan \theta = \frac{B}{\pi D} \quad (\text{II.3})$$

5.4. Longueur des spires (hélice)

La longueur déroulée d'un tour d'hélice s'écrit :

$$Z = \frac{\pi \cdot P}{\cos \theta} = \frac{P}{\sin \theta} \quad (\text{II.4})$$

5.5. Vitesse de rotations de la vis

Rappelons que le principe moteur de la vis d'Archimède, c'est le rotor ou l'hélice.

Le rotor par l'action combinée de sa rotation et de la pesanteur fait avancer le produit dans l'auge.

5.6. Calcul de débit Q (Kg/h)

Pour le calcul du débit, on tient compte de la section utile de la spire.

Section utile = Section de la spire – Section de support intermédiaire

$$Q = 60\pi \frac{D^2}{4} BKN \quad (\text{II.5})$$

Ce débit peut s'écrire en fonction de la vitesse de translation du produit comme suit :

Avec :

D : (m) Diamètre nominal de la spire,

B : (m) pas de la spire,

N : (tr/min) vitesse de rotation

K : rendement du débit transporté par la vis,

V : (ms.⁻¹) vitesse d'écoulement du produit.

5.7. Calcul des arbres : (Dimensionnement des arbres)

Ces liaisons dépendent des couples transmis, on choisit ces liaisons en fonction du couple transmis.

a. Puissance transmise par un arbre :

$$P = M_t \times \omega \quad (\text{II.6})$$

Avec $\omega = \frac{2\pi}{60} N$.

b. Moment du couple moteur :

$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{\frac{2\pi N}{60}} \quad (\text{II.7})$$

$$M_t = \frac{30P}{\pi N} \quad (\text{II.8})$$

Avec

P : puissance moteur en Watt

M_t : moment de torsion en N.m

ω : Module de torsion en rad/s

N : fréquence de rotation en tr/min

5.8. Calcul d'un arbre à la torsion :

Pour qu'un, cylindre sollicité à la torsion résiste en toute sécurité il faut évidemment que la contrainte maximale τ_{max} soit inférieure ou égale à la résistance plastique au cisaillement R_{pg} , d'où la condition :

$$\tau_{max} = \frac{M_{tmax}}{\left(\frac{I_p}{\vartheta}\right)} \quad \text{Et} \quad \tau_{max} \leq R_{pg} \quad (\text{II.9})$$

M_t : moment de torsion en N.mm

$\left(\frac{I_p}{\vartheta}\right)$: Module de torsion de la section considéré en mm^2

I_p : moment d'inertie polaire de la section droite en mm^4

ϑ : La distance du point la plus éloigné de la fibre neutre (Axe de rotation) en mm

Cette relation peut s'écrire :

$$M_{tmax} \leq R_{pg} \times \frac{I_p}{\vartheta} \quad \dots\dots a$$

$$\text{Ou} \quad \frac{I_p}{\vartheta} \geq \frac{M_{tmax}}{R_{pg}} \quad \dots\dots b$$

La première de ces formes (a) est utilisée quand il s'agit de calculer la valeur maximale du moment de torsion qui peut-être appliquée à un cylindre donné.

La seconde (b) sert dans le cas où il faut déterminer le diamètre du cylindre connaissant le moment de torsion et la résistance plastique au cisaillement.

En particulier, pour un cylindre plein de diamètre d :

$$I_0 = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

$$\vartheta = \frac{d}{2} \cdot \frac{I_p}{I_0} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \approx 0.2 \cdot d^3$$

Remarque:

Pour un cylindre creux (couronne)

$$I_0 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} \text{ et } \frac{I_0}{\vartheta} = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{16D} \quad (\text{II.10})$$

1^{er} cas :

L'arbre est court ou peu chargé : on le considère comme étant sollicité uniquement à la torsion. Son diamètre d doit alors satisfaire à la relation (b) :

$$0.2 \cdot d^3 \geq \frac{Mt}{R_{pg}}$$

$$\text{Soit } d \geq \sqrt[3]{\frac{Mt}{0.2R_{pg}}} \quad (\text{II.11})$$

La résistance R_{pg} est choisie en fonction des particularités de fonctionnement ; démarrage brusque au moment de la mise en marche, brusques variations des charges, changements de marche plus ou moins fréquente.

Le plus souvent, on adopte pour R_{pg} une valeur égale à la moitié de celle qui serait adoptée dans le cas d'un effort de cisaillement permanent et constant

2^{ème} cas : l'arbre est de grandes longueurs :

Toute variation brusque de la charge peut entraîner une grande rotation des sections extrêmes. L'arbre risque alors de se comporter comme un ressort qui se bande ou se détend.

Généralement, pour limiter la déformation, on impose à l'angle de torsion unitaire : $\frac{1}{4}$ de degré par mètre de longueur, par exemple, soit :

$$\theta_{\max} = \frac{2\pi}{360} \times \frac{1}{4} = \frac{\pi}{180} \times \frac{1}{4} = \frac{\pi}{720} \text{ rad/mm}$$

Expression de l'angle de torsion unitaire correspondant à des déformations élastique :

$$\theta = \frac{Mt}{G \cdot I_0} \quad \text{si en remplace } I_0 = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

$$\frac{32 \cdot Mt}{G \cdot \pi \cdot d^4} \leq \theta_{\text{admi}} \quad (\text{II.12})$$

θ : Angle de torsion unitaire en rad/mm

M_t : moment de torsion en N.mm

G : module d'élasticité transversale en N/mm^2

Formule équivalentes

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{5 \cdot M_t}{\tau_{\max}}}$$

6. Calcul des arbres soumis à la torsion et à la flexion

Les arbres en général sont soumis à des contraintes de flexion, à des contraintes de torsion, ou à un chargement complexe de torsion, de flexion et de charge axiale.

Ainsi d'une manière générale dans le calcul des arbres, on se place sur la périphérie de la section ce qui revient à négliger l'effort tranchant. On obtient donc pour un arbre de section circulaire de diamètre d :

1). Contrainte normale de flexion

$$\sigma_{\max} = \frac{M_f \max}{\left(\frac{I_{\alpha} \cdot \beta}{\vartheta}\right)} = \frac{M_f \max}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{32 M_f \max}{\pi d^3} \approx \frac{M_f \max}{0.1 d^3}$$

Avec $\left(\frac{I_{\alpha} \cdot \beta}{\vartheta}\right)$: module de flexion

$$I_{\alpha} \cdot \beta = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

- Contrainte tangentielle de torsion

$$\tau_t = \frac{\tau_t}{\left(\frac{10}{\vartheta}\right)} = \frac{M_t}{\left(\frac{\pi d^3}{16}\right)} \approx \frac{M_t}{0.2 d^3}$$

Dans ce cas il faut déterminer le moment idéal M_i pour les matériaux ductiles comme l'acier doux ou mi-dur on emploie la relation suivante :

$$M_i = \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \quad (\text{II.14})$$

Ou

M_f : moment de flexion

M_t : moment de torsion

M_i : moment idéal

Sachant que $b \approx \frac{M_f}{0.1 d^3}$ ou b : contrainte normal de flexion

M_f : moment de flexion

d : diamètre de l'arbre

et $\tau_t = \frac{M_t}{0.1 d^3}$ ou

M_t : moment de torsion

τ_t : Contrainte tangentielle de torsion

En exprimant M_t et M_f en fonction des contraintes τ_t et τ_f dans la relation suivante :

$$M_i = \sqrt{(0.1 d^3 \cdot \tau_f)^2 + (0.2 d^3 \cdot \tau_t)^2}$$

$$\text{Soit } M_i = 0.1 d^3 \sqrt{\tau_f^2 + 4 \cdot \tau_t^2}$$

Dans ce cas M_i est appelé moment idéal de torsion à cause de la prédominance de la contrainte de torsion.

On peut écrire la formule précédente comme suit

$$\frac{M_i}{0.1 d^3} \approx \sqrt{\tau_f^2 + 4 \cdot \tau_t^2}$$

$$\text{Ou } \tau_i = \sqrt{\tau_f^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = \frac{M_i}{0.1 d^3} \leq R_{pg} \quad (\text{II.15})$$

τ_i est la contrainte idéal appelé souvent contrainte idéal de torsion à cause de la prédominance du phénomène de la torsion et M_i moment idéal de torsion.

❖ **Condition de sécurité :**

$$\frac{M_i}{0.1 d^3} \leq R_{pg}$$

R_{pg} est la contrainte au pratique au cisaillement.

De la formule précédente le diamètre de l'arbre doit satisfaire la condition suivante :

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_i}{R_{pg}}}$$

Remarque :

Pour les matériaux fragile comme la fonte ou l'acier extra-dur (rarement utilisé pour les arbres de transmission à cause de leur fragilité et leur résistance faible aux choques). On utilise la relation empirique.

$$M_i = \frac{1}{2} \cdot M_f + \frac{1}{2} \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \quad (\text{II.16})$$

M_i est le moment idéal appelé aussi moment idéal de flexion à de la prédominance du phénomène de flexion.

Connaissant le moment de flexion idéal, il suffira de calculer la contrainte normale correspondante, donné par la relation :

$$M_{\max} = \frac{\delta_i}{\left(\frac{I_p}{\vartheta}\right)} \leq R_{pg}$$

Ou M_{fi} moment de flexion idéal

Et la condition de sécurité de l'organe sera :

$$M_{fi} \leq \frac{R_p I_\alpha}{\vartheta}$$

R_{pe} étant la contrainte admissible du matériau à l'extension ou à la compression

Dans certain cas on utilise aussi la relation empirique du moment idéal suivante :

$$M_i = 0.35.M_f + 0.65 \sqrt{M_f^2 + M_t^2}$$

Le diamètre d de l'arbre est alors calculé comme s'il était uniquement sollicité à la flexion par un couple de flexion fictif ou couple de flexion équivalente dont le moment est donné par l'expression précédente.

7. Accouplement de l'extrudeuse avec le moteur :

7.1. Montage de l'axe sur le moteur

La réunion de deux arbres permet la transmission d'un mouvement de rotation. La liaison de ceux-ci peut se faire grâce à une grande variété d'organes, produits industriels courants parmi eux on trouve ces liaisons :

7.2. Liaisons par goupilles

Elles conviennent aux assemblages simples et économiques sous couples modérées. La goupille peut faire office de pièce de sécurité, seule pièce qui casse en cas de surcharge. En fonctionnement la goupille ne doit pas pouvoir s'échapper ; l'immobilisation doit être suffisante : à cette fin, utiliser des goupilles cannelées, coniques ou élastiques.

8. Resistance mécanique de l'arbre à la torsion

Pour assurer un fonctionnement sans risque de casse, la vis doit pouvoir résister au couple maximal pouvant être fourni par un moteur placé sur la vis ,cette valeur est obtenue a jouissance et a vitesse maximales :

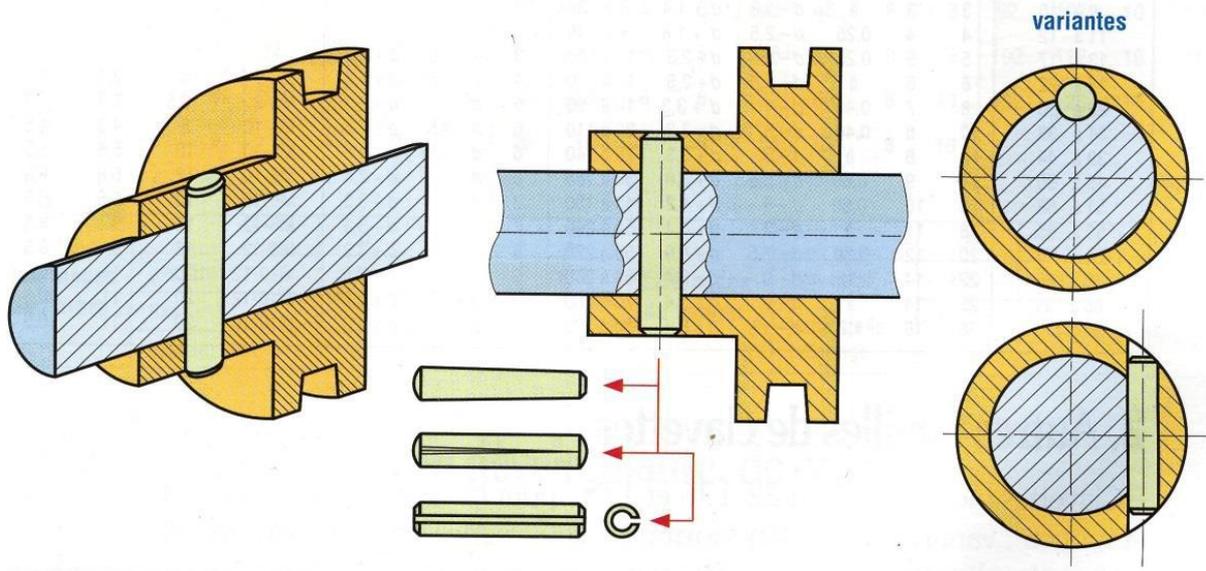


Figure II.4 : Liaison à l'aide des goupilles. [13]

8.1. Liaison par clavettes

Simple, économiques, elles sont souvent utilisées. Le couple transmissible, bien que plus élevé qu'avec les goupilles, reste limité. Aux couples élevés préférer les cannelures. Elles peuvent être utilisées comme organe de sécurité, seule pièce qui casse en cas de surcharge [12]

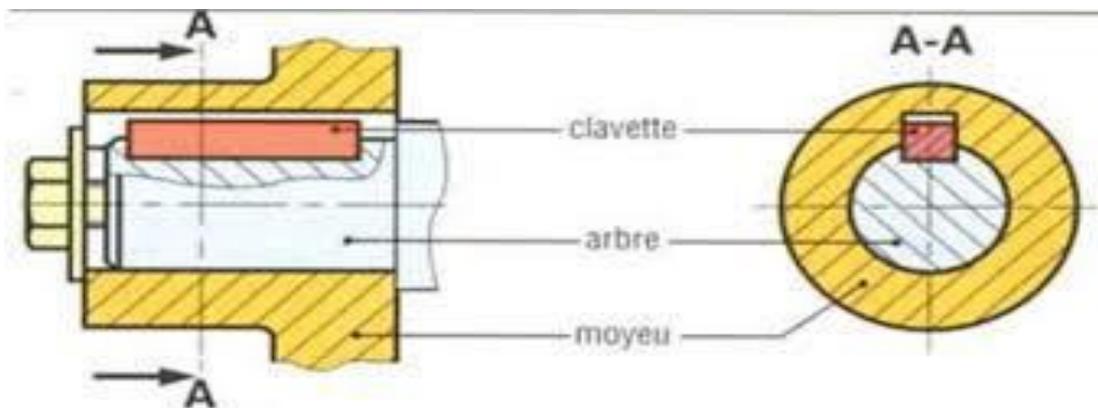


Figure II.5 Liaison par clavettes. [13]

Comme il existe plusieurs modèles de clavettes mais le rôle reste le même c'est d'assurer la liaison en rotation entre un arbre et un moyeu, on trouve dans le tableau suivant quelques modèles de clavettes :

Désignations	Photos	Schémas
Clavette parallèle de type A, B ou C		
Clavette parallèle fixée par vis		
Clavette disque		

Tableau II.8 : modèles de clavettes [13]

8.1.1. Dimensionnement de la clavette :

Les normes donnent les valeurs de la largeur a et de la hauteur b en fonction du diamètre de l'arbre (tableau ci-dessous). Il reste à trouver la longueur l de la clavette.

D	a	b	s	j	K	d	a	b	s	J	K
De 6 à 8 inclus	2	2	0,16	d-1,2	d+1	58 à 65	18	11	0,6	d-7	d+4,4
8 à 10	3	3	0,16	d-1,8	d+1,4	65 à 75	20	12	0,6	d-7,5	d+4,9
10 à 12	4	4	0,16	d-2,5	d+1,8	75 à 85	22	14	1	d-9	d+5,4
12 à 17	5	5	0,25	d-3	d+2,3	85 à 95	25	14	1	d-9	d+5,4
17 à 22	6	6	0,25	d-3,5	d+2,8	95 à 110	28	16	1	d-10	d+6,4
22 à 30	8	7	0,4	d-4	d+3,3	110 à 130	32	18	1	d-11	d+7,4
30 à 38	10	8	0,4	d-4	d+3,3	130 à 150	3 ϕ	20	1,6	d-12	d+8,4
38 à 44	12	8	0,4	d-5	d+3,3	150 à 170	40	22	1,6	d-13	d+9,4
44 à 50	14	9	0,4	d-5,5	d+3,8	170 à 200	45	25	1,6	d-15	d+ 10,4
50 à 58	16	10	0,6	d-6	d+4,3	200 à 230	50	28	1,6	d-17	d+11,4

Tableau II.9 : Dimensions des clavettes normalisées. [13]

Note : L'emploi d'une clavette, sur un arbre dimension supérieure, est possible.

8.2. Liaison par accouplements

L'accouplement est une liaison complète de deux arbres où on doit considérer les deux arbres liés comme une seule pièce mécanique (un seul arbre), voir la figure ci-après

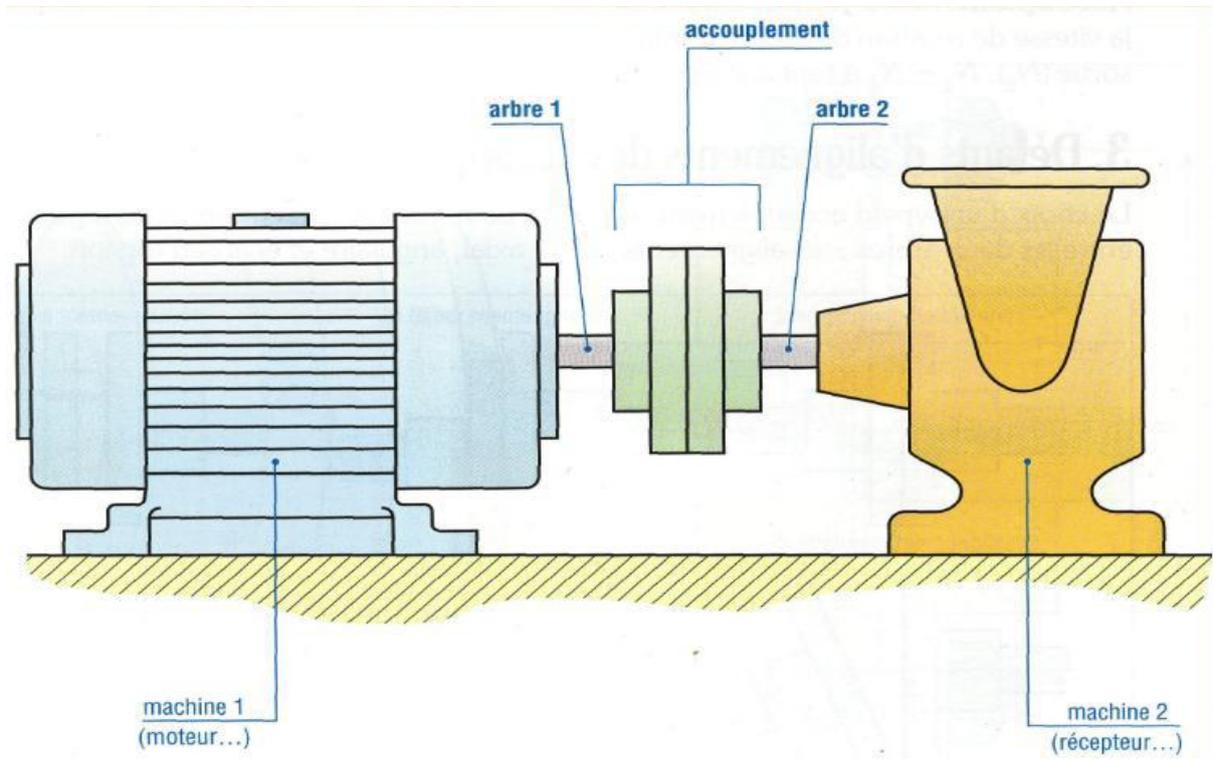


Figure II.6 Liaison par accouplement. [13]

8.3. Les caractéristiques principales de la liaison

- le respect de l'alignement des deux arbres ;
- la transmission des actions mécaniques ;
- la rigidité ;
- la durée de vie ;
- la démontrabilité éventuelle ;
- le prix de revient.

8.4. Réglage de l'alignement de l'axe de la sortie du moteur à la sortie du produit

A peu près 40% des problèmes sur les machines rotatives viennent du mauvais alignement. Les arbres désalignés peuvent provoquer la rupture de roulements, la rupture d'arbre, la rupture de joint, le bruit d'accouplement, la surchauffe, les vibrations... Il existe plusieurs méthodes qui peuvent être utilisées pour assurer l'alignement des arbres à la sortie du moteur jusqu'à mettre le produit dans le sac, parmi ces méthodes on a :

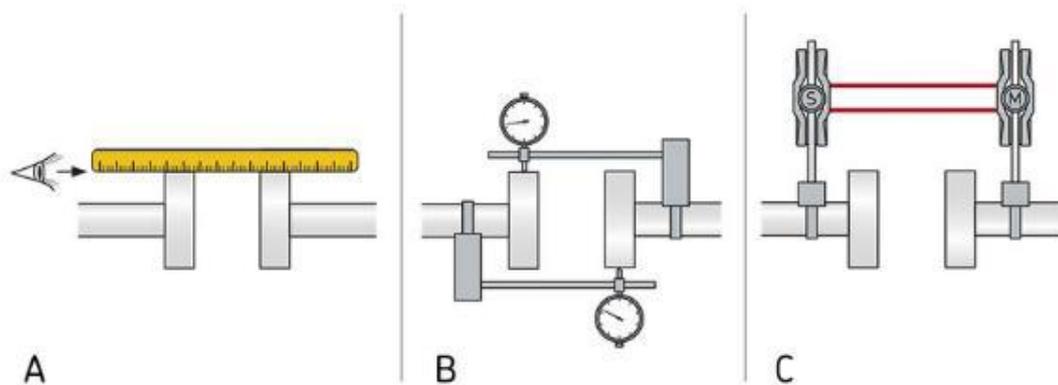


Figure II.7 : Méthodes d'analyse d'alignements. [13]

A. Règle : Précision = mauvaise, vitesse = bonne, facilité d'utilisation = bonne

B. Comparateurs à cadran : Précision = bonne, vitesse = mauvaise, facilité d'utilisation = mauvaise

C. Alignement d'arbre laser : Précision = bonne, vitesse = bonne, facilité d'utilisation = bonne

En somme, il est clair que les systèmes d'alignement laser sont plus rapides et plus faciles à utiliser que les comparateurs à cadran. Ils sont également plus précis et ne demandent pas de compétences spécifiques pour obtenir des résultats précis pratiquement à tout moment.

8.5. Paliers à roulements

Les paliers sont des organes utilisés en construction mécanique pour supporter et guider, en rotation, des arbres de transmission.

Les paliers sont réalisés en fonction du type de roulement employé : à billes, à rouleaux ou à aiguilles. Le montage des roulements dans les paliers demandait une précision d'alésage qui a fortement été diminuée par l'adoption des colles de scellement. Cette colle, après positionnement correct de l'arbre, maintient solidement (dans le sens radial) le roulement dans son logement.

Le maintien des roulements dans le sens axial peut être assuré par des collerettes vissées ou des anneaux élastiques. Tous ces montages dépendent de l'utilisation, des efforts et du coût de revient. [13]



Figure II.8 : Quelques modèles de paliers à roulements. [14]

Dans notre étude on choisi d'utiliser un roulement à billes à contact radial, ce sont les plus économiques et ils supportent tous les types de charges.

9. Application

9.1. Cahier des charges

- Moteur électrique triphasé
- Puissance moteur $P= 1.5\text{kw}$
- Vitesse de rotation $N= 1400 \text{ tr/min}$
- Fréquence 50 Hz
- Diamètre de l'arbre $\varnothing=24 \text{ mm}$
- Longueur de l'arbre étudié 350 mm

9.2. Calcul de la vitesse de rotation de la vis :

La vitesse de rotation de sortie :

$$N_s = \frac{N_e}{i}$$

$$\text{Tel que } i = \frac{1}{20}$$

N_s : vitesse de rotation de sortie en tr/min

N_e : vitesse de rotation d'entrer en tr/min

I : indice de réduction

$$N_s = \frac{1400}{\frac{1}{20}} = \frac{1400}{20} = 70 \text{ tr/min}$$

9.3. Dimensionnement de la vis :

Matériau utilisé : Acier Inox304 (X5CrNi18_10)

$$R_e \geq 205 \text{ MPa}$$

S= 4 coefficient de sécurité

a. Puissance transmise par un arbre :

$$P = M_t \times \omega$$

$$\text{Avec } \omega = \frac{2\pi}{60}$$

b. Moment du couple moteur :

$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{\frac{2\pi N_s}{60}} ;$$

$$P = 1.5 \text{ kw} = 1500 \text{ w}$$

$$N = 70 \text{ tr/min}$$

$$M_t = \frac{30P}{\pi N} = \frac{30 \times 1500}{3.14 \times 70}$$

$$M_t = 204.731 \text{ N.m}$$

9.4. Calcul d'un arbre à la torsion :

$$\tau = \frac{M}{\left(\frac{L}{\varnothing}\right)} \leq R_e$$

$$M_t \leq R_{pg} \times \frac{I_0}{\vartheta} \dots\dots\dots a$$

$$\text{Ou } \frac{I_0}{\vartheta} \geq \frac{M_t}{R_{pg}} \dots\dots\dots b$$

$$I_0 = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

$$\vartheta = \frac{d}{2} \quad \frac{I_0}{\vartheta} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \approx 0.2 \cdot d^3$$

$$\frac{M_t}{\frac{\pi d^3}{16}} \leq \frac{R_{e2}}{s}$$

$$\frac{204.731}{\pi \cdot d^3} \times 16 \leq \frac{205}{4}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{204.731 \times 10^3 \times 16}{\pi \cdot \frac{205}{4}}}$$

$$d \geq 27.30 \text{ mm}$$

9.5. Calcul de résistance a la flexion

- Contrainte normale de flexion

$$\frac{M_f}{I_z} \times Y_{max} \leq Re$$

Re : limites d'élasticité.

$$Y_{max} = \frac{D}{2}$$

$$M_f = F \times L$$

$$I_z = \frac{\pi d^4}{32}$$

$$\frac{F \times L}{I_z} \times \frac{d}{2} \leq Re$$

$$\frac{F \times L \times 32 \times d}{\pi d^4 \times 2} \leq Re$$

$$\frac{F \times L \times 32}{\pi d^3 \times 2} \leq Re$$

$$\frac{32 \times F \times L}{2 \times Re \times \pi} \leq Re.$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times F \times L}{2 \pi \times Re}}.$$

F : c'est le poids de la matière s'appuyant sur l'arbre qui t'égal à la force de poussé.

L : longueur de l'arbre.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times 529.875 \times 350}{2 \pi \times 205}}.$$

$$d \geq 16.64 \text{ mm.}$$

Donc on prend un diamètre normalisé supérieur aux résultats qu'on a eu.

$$d = 30 \text{ mm.}$$

10. Calcul des hélices

10.1. Calcul de H : (la profondeur du chenal)

D'après l'équation (II.1), la profondeur du chenal est:

$$H = \frac{D_2 - D_1}{2} = \frac{35 - 30}{2} = 2.5 \text{ mm}$$

10.2. Calcul de θ : (l'angle d'inclinaison du filet)

De l'équation (II.3), l'angle d'inclinaison du filet est:

$$\tan \theta = \frac{B}{\pi \cdot D} = \frac{35}{\pi \cdot 30} = 20.38^\circ$$

10.3. Calcul de Z : (longueur déroulée d'un tour d'hélice)

D'après l'équation (II.4), on aura la longueur d'un tour d'hélice:

$$Z = \frac{\pi \cdot P}{\cos \theta} = \frac{P}{\sin \theta} = \frac{35}{\sin \theta} = 100.5 \text{ mm}$$

10.4. La largeur du chenal peut être décrite par :

$$W = B \cos \theta - e$$

Pour l'épaisseur de l'hélice on détermine la longueur de l'hélice incliné

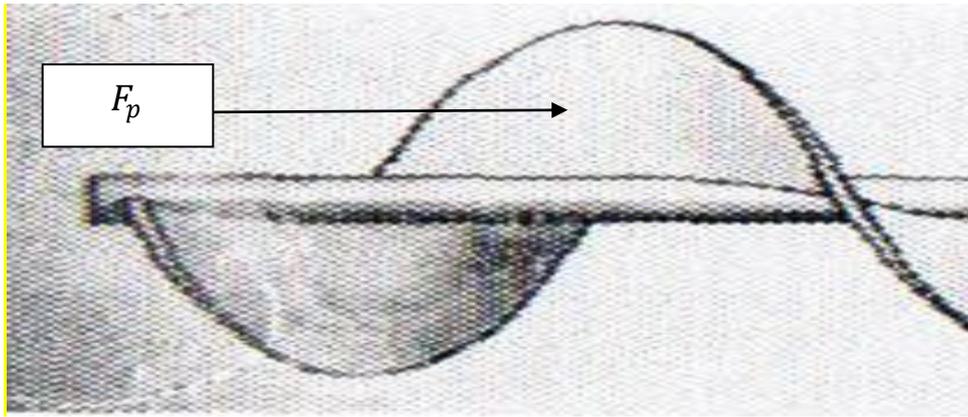


Figure II.9 : la force de poussée sur l'hélice

On considère que la force de poussée s'exerce complètement sur le milieu de la surface d'hélice

10.4.1. Force de poussée

$$P = \frac{F}{S} \leq R_e$$

$$F \leq S \times R_e$$

$$S = \frac{(D_2 - D_1)^2}{2} \times \pi$$

$$F \leq \frac{(D_2 - D_1)^2}{2} \times \pi \cdot R_e$$

$$F \leq \frac{(35 - 30)^2}{2} \times \pi \times 27$$

$$F \leq 529.875 \text{ N}$$

Donc l'hélice soumise à un effort de cisaillement :

$$\tau = \frac{T}{S} \leq R_e$$

$$\frac{529.875}{\frac{H'}{2} \times e} \leq 205$$

$$e \geq \frac{529.875}{1.33 \times 205}$$

$$e \geq 1.943 \text{ mm}$$

On prend $e = 2 \text{ mm}$

Donc La largeur du chenal :

$$W = B \cos \theta - e$$

$$W = 35 \times \cos(20.38) - 2$$

$$W = 30.81 \text{ mm}$$

10.5. Calcul de variation de pas dans les différentes parties de la vis

Donné :

- Pas₁ = 35 mm
- Coefficient de foisonnement = 1.40
- $V_p = V_f \times C_f$

V_p : volume initial

V_f : volume foisonné

C_f , coefficient de foisonnement

10.5.1. Calcul des volumes dans les différentes parties de la vis :

$$V_1 = \left(\frac{D' - d'}{2} \right)^2 \times \pi \times P_1$$

$$V_1 = \left(\frac{2.66}{2} \right)^2 \times \pi \times 35$$

$$V_1 = 194.40 \text{ mm}^3$$

En prend $C_{f1} = 1.43$ dans la deuxième partie de la vis car les granulés sont pas encore en état liquide

$$V_2 = \frac{V_1}{C_{f1}} = \frac{194.40}{1.43}$$

$$V_2 = 135.94 \text{ mm}^3$$

Pour déterminer le Pas₂

$$\text{Pas}_2 = \frac{V_2}{\pi \times 1.33^2} = 24.47 \text{ mm}$$

Dans la dernière zone de la vis on prend C_{f2} = 1.45

$$V_3 = \frac{V_1}{1.45} = 134.068 \text{ mm}^3$$

$$\text{Pas}_3 = \frac{V_1}{\pi \times 1.33^2} = 24.13 \text{ mm}$$

10.6. Calcul de débit :

$$Q = \frac{W \times H \times N \times d \times \cos \theta \times \pi}{2} = 238054.982 \text{ mm}^3 / \text{min} = 14.28 \text{ Kg/h}$$

W : largeur du chenal

H : profondeur du chenal

N : vitesse de rotation de la vis

d : diamètre de la vis

Conclusion

Dans ce chapitre on a calculé la géométrie de la vis et le dimensionnement des composantes afin de déterminer leur résistance aux différentes sollicitations auxquelles elles sont exposées.

Chapitre III

Modélisation

géométrique simulation

sur Solidworks

Chapitre III : modélisation géométrique simulation sur Solidworks

1. Introduction

Le présent de ce chapitre est considéré comme une partie importante dans cette étude car elle est consacré à donner une valeur au calcul que nous avons fait et obtenir un produit de meilleure précision en un moindre temps, ce qui confère une grande importance quant à l'utilisation des logiciels CAO dans la conception des produit en général.

2. Définition de la CAO :

Nous pouvons définir la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) par l'ensemble des outils logiciels et des techniques informatiques qui permettent d'assister les concepteurs lors de la conception et la mise au point d'un produit. [15]

2.1. Logiciel utilisée :

Un programme en général de type industriel doit être capable de résoudre des problèmes varié de grandes tailles (de mille à quelques centaines et milliers de variables). Ces programmes complexes nécessitent un travail d'approche non négligeable avant d'espérer pouvoir traiter un problème réel de façon correcte. Citons à titre d'exemple quelque nom de logiciels : SOLID WORKS, KATIA, ABAQUS, ANSYS,...etc. les possibilités offertes par de tels programmes sont nombreuses :

- Analyse statique ou dynamique
- Prise en compte de loi de comportement complexe.
- Prise en compte de phénomènes divers (élasticité, thermique,...)
- Problèmes d'optimisation,...etc.

L'utilisation de tels programmes nécessite une formation de base minimale. [15]

2.2. Les différentes utilisations de SOLID WORKS :

Ce logiciel est utilisé par des concepteurs, des ingénieurs, des étudiants et d'autres professionnels pour concevoir des pièces, des assemblages et des mises en plans complexes. Des plus ils peuvent être utilisés dans plusieurs domaines, nous citons par exemple :

- Produit du design industriel.
- Ouvrages de génie civil.
- Ouvrages d'architecture.

3. Modélisation géométrique des composantes :

La modélisation géométrique des pièces d'une mini extrudeuse avec le logiciel de SolidWorks passe par 3 étapes :

- Création des pièces en model de 2D (2 dimensions).
- Création des pièces en model 3D (3 dimensions).
- Assemblage des pièces.

3.1.Modélisation géométrique de groupe de plastification :

- La vis

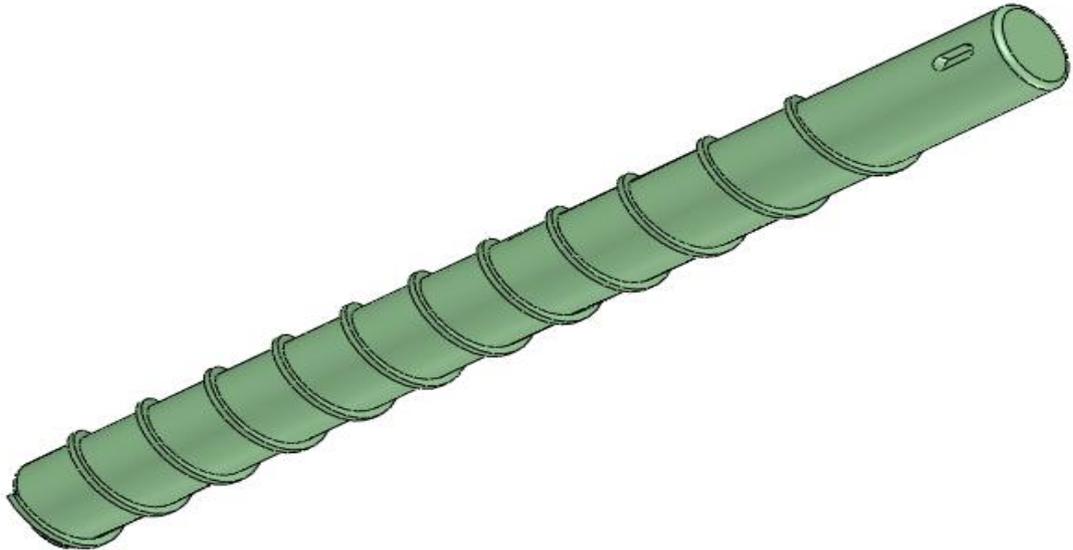


Figure III.1 : model CAO de la vis

- Fourreau :

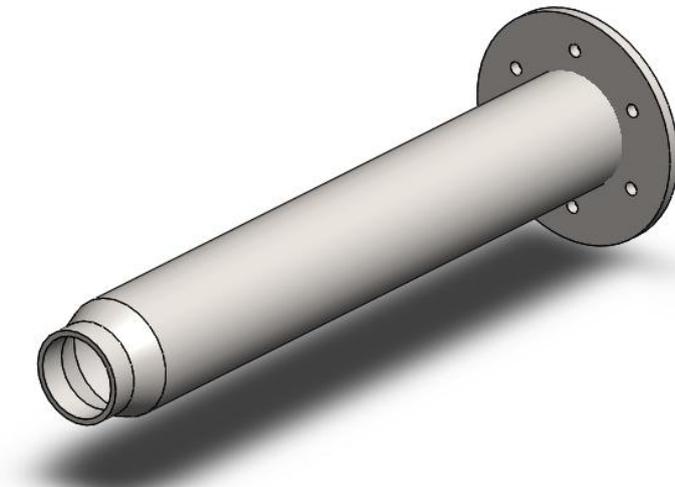


Figure III.2 : modèle CAO du fourreau

- **La trémie :**



Figure III.3 : modèle CAO de la trémie

- **Porte-trémie :**

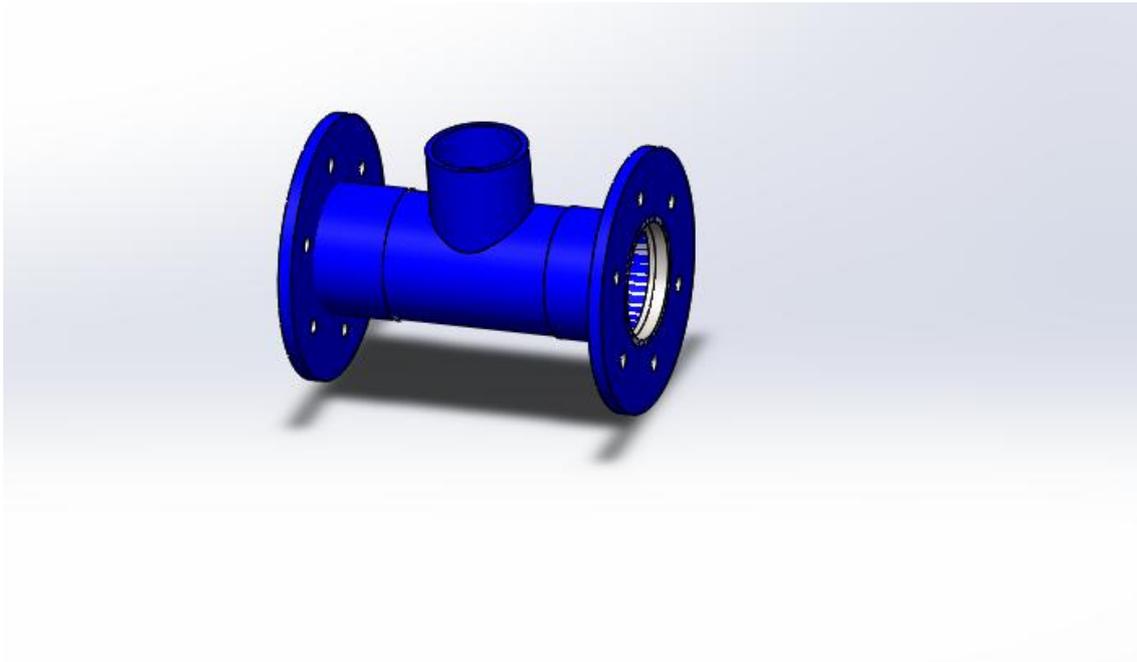


Figure III.4 : modèle CAO du porte trémie

- **Bouchon**

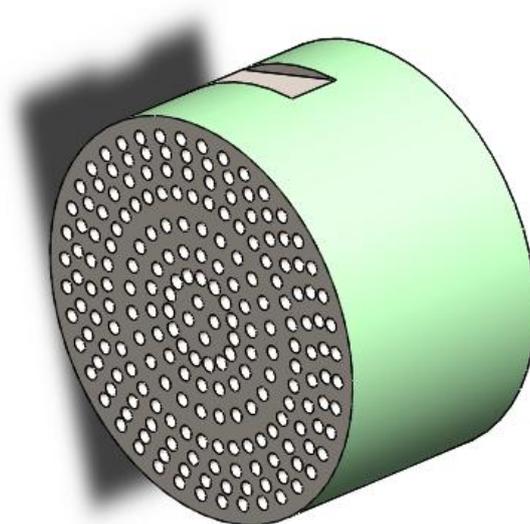


Figure III.5 : Modèle CAO du bouchon

4. Modélisation numérique :

4.1. Introduction aux éléments finis :

La méthode des éléments finis fait partie des outils mathématiques appliqués. Il s'agit de mettre en place à l'aide des principes hérités de la formulation variationnelle ou formulation faible, un algorithme discret mathématique permettant de rechercher une solution approchée d'une équation aux dérivées partielles (EDP) sur un domaine compact avec conditions aux bords et/ou dans l'intérieur du compact. Il s'agit donc avant tout de la résolution approchée d'un problème, ou, grâce à la formulation vibrationnelle, les solutions du problème vérifient des conditions d'existence plus faibles que celles des solutions du problème de départ et une discrétisation permet de trouver une solution approchée. Le but du calcul par éléments finis est la détermination des déplacements puis des contraintes dans la structure de manière à valider la conception. Nous utilisons la méthode des éléments finis dans notre étude pour déterminer le comportement des pièces sollicitées (arbre et lame) du broyeur, et nous avons choisi le logiciel de simulation numérique SolidWorks®.

De façon générale, une résolution par éléments finis comporte trois étapes :

- Préparation des données ou pré-processing (génération de données) définir le problème.
- Les étapes majeures sont données ci-dessous :
- Définition des points clés (keypoints) /lignes/surfaces/volumes.
 - Définir le type d'élément fini, ses propriétés géométriques et les propriétés physiques des matériaux.
 - Maillage des lignes /surfaces/volumes si cela est requise.
 - Définition des matériaux.
 - Traitement ou processing : assigner les charges, contraintes (conditions aux limites) et résolution ; nous spécifions notamment la nature des charges localisées et/ ou distribuées), contraintes ou conditions aux limites (translation et rotation) et, finalement, on résout le système d'équation :
 - Post-processing (poste traitement) : visualisation et interprétation des résultats ; lors de cette étape, on peut examiner :
- La liste des déplacements nodaux.
- Les forces et des moments au niveau des éléments.
- Tracé des déformés. [16]

4.2. Le maillage :

La méthode des éléments finis repose sur un découpage de l'espace selon un maillage. Il n'est pas non plus nécessaire que le maillage soit régulier et nous avons tendance à resserrer le maillage près des endroits d'intérêts (par exemple aux endroits où nous pensons que la solution va beaucoup varier), cependant il faut veiller à avoir des éléments faiblement distordus (se rapprocher d'un polygone régulier). Plus ce maillage est resserré plus la solution que nous obtiendrons par la méthode des éléments finis sera précise et proche de la solution de l'équation aux dérivées partielles.

4.3. Génération d'un maillage :

Pour générer un maillage volumique, il faut tout d'abord créer un modèle géométrique ou importer directement un modèle géométrique issu d'un logiciel CAO comme SolidWorks. Pour SolidWorks nous avons choisi un maillage par défaut (maillage volumique). [16]

4.4. Matériau utilisé pour la réalisation du mécanisme :

L'acier inox 304 (UNS S30400) est l'acier inoxydable le plus largement utilisé. La matière AISI 304 a une bonne résistance à la corrosion atmosphérique et à l'oxydation. La teneur élevée en alliage nickel-chrome lui confère une excellente résistance à la corrosion et est largement utilisé dans l'industrie alimentaire comme acier inoxydable de qualité alimentaire standard.

4.4.1. Composition :

X5CrNi18-10 : Carbone : 0,05 - Chrome : 17 à 19% - Nickel : 9 à 11 %.

4.5. Vérification des Condition aux limites des différents composants :

Les conditions aux limites consistent à déterminer les déplacements imposés et les cas de chargement sur les pièces dans les différents cas de sollicitations.

4.5.1. Etude de la résistance de la vis à la torsion

4.5.1.1. Simulation du comportement de la vis, étudié sur « SolidWorks simulation »

Afin de valider les résultats des calculs de résistance de la vis fait par les relations RDM connues pour ce genre de pièces, nous avons utilisé le module SolidWorks simulation qui est un module d'analyse par éléments finis proposant divers gamme de choix de matériau, de maillage et applications des conditions aux limites et chargement suivant le fonctionnement de la pièce.

L'étude RDM en utilisant les conditions de résistance à la flexion et à la torsion nous avons trouvé que pour le bon fonctionnement de la vis à l'intérieur du fourreau pleine de PP (polypropylène), nous avons trouvé que l'arbre doit présenter un diamètre minimum de 30mm sachant que les charges appliquées sur l'arbre ce sont la force de poussée qui t'égale à 529.875N .

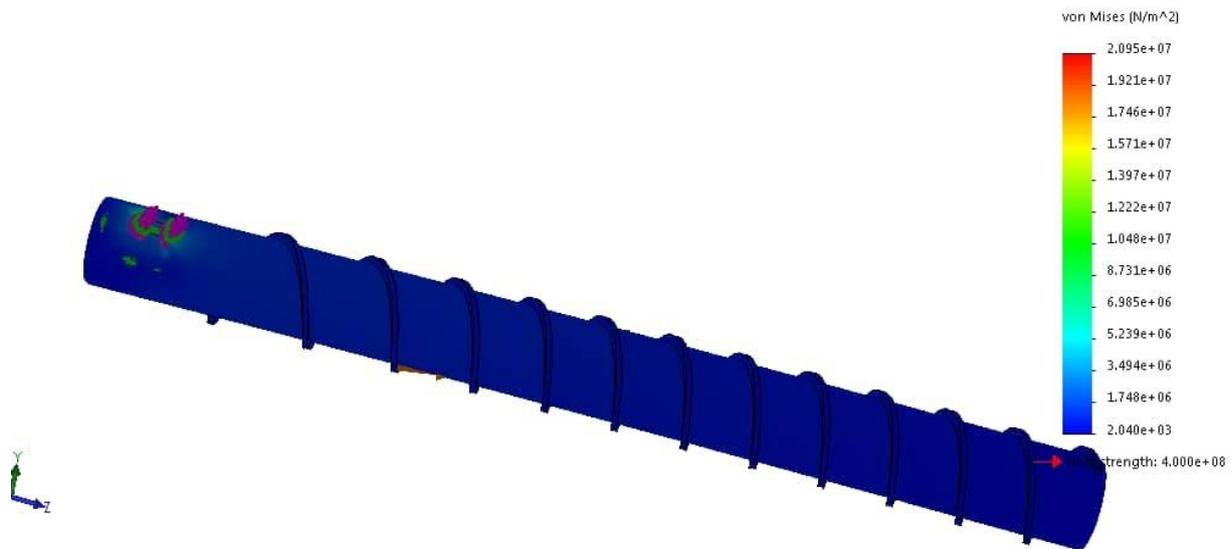


Figure III.6 : présentation de la simulation de la vis sur Solidworks

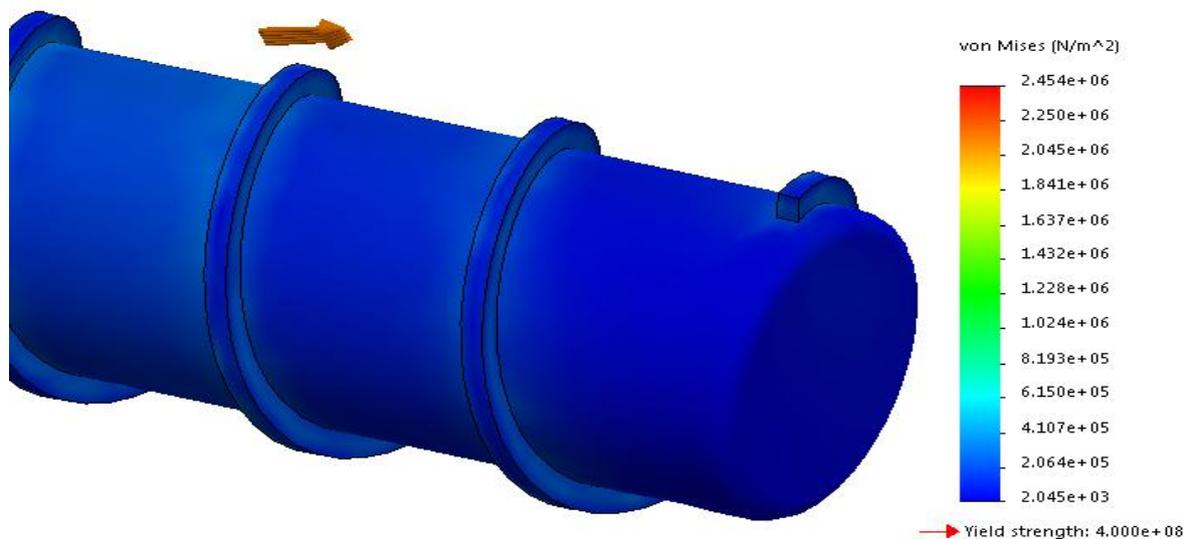


Figure III.7 : simulation de l'extrémité de la vis

4.5.1.2. Maillage :

Comme indiqué sur la figure suivante la méthode des éléments finis, nécessite la création du maillage sur notre pièce, comme première approche et afin de rendre le calcul plus simple et facile nous avons choisi un maillage triangulaire standard de taille moyenne

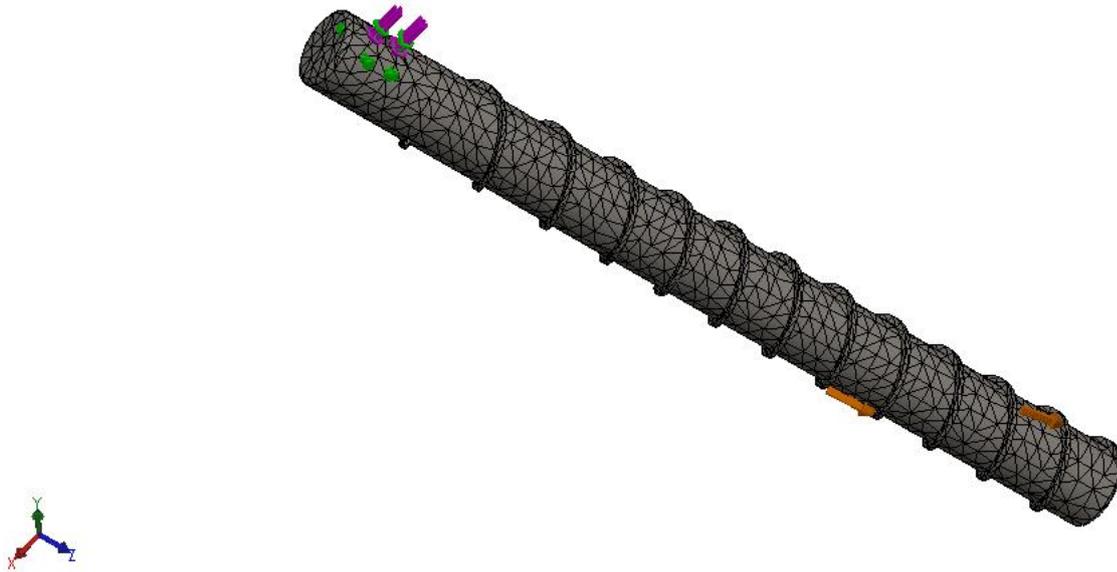


Figure III.8 : Maillage triangulaire type standard appliqué sur notre pièce.

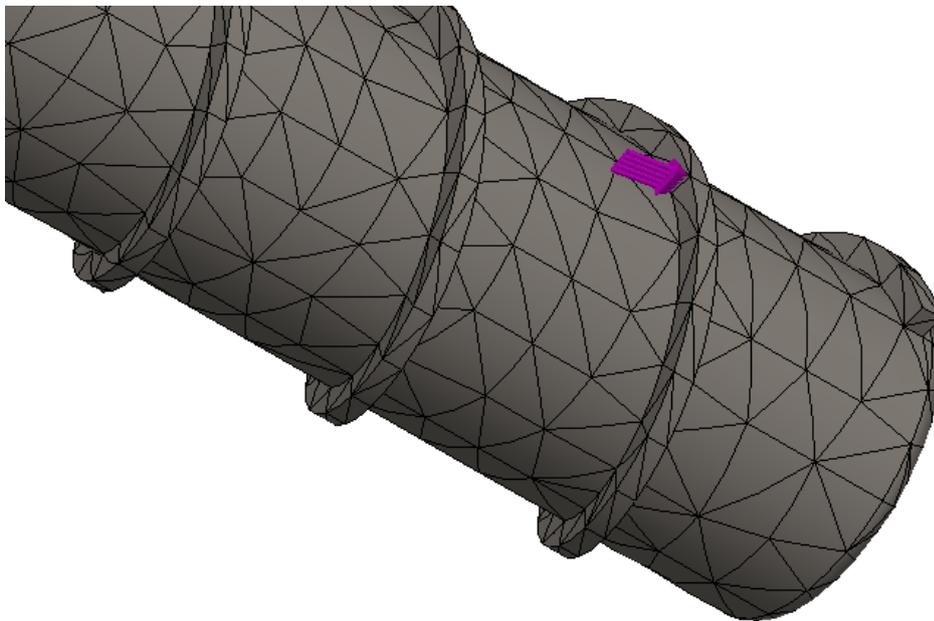


Figure III.9 : maillage triangulaire sur l'extrémité de notre vis

La figure suivante indique la distribution des contraintes de type Von Mises qui donne un aperçu sur les zones les plus sollicitées présentes dans notre pièce, nous remarquons que globalement

notre pièce présente une réponse nettement inférieure à la limite d'élasticité de l'acier choisi (Acier Inox 304 X5CrNi18-10) de 205 MPa, nous pouvons remarquer aussi que le début de la pièce présente l'une des zone les plus sollicitée avec un ordre de grandeur $1.433 \times 10^6 \text{ N/m}^2$,

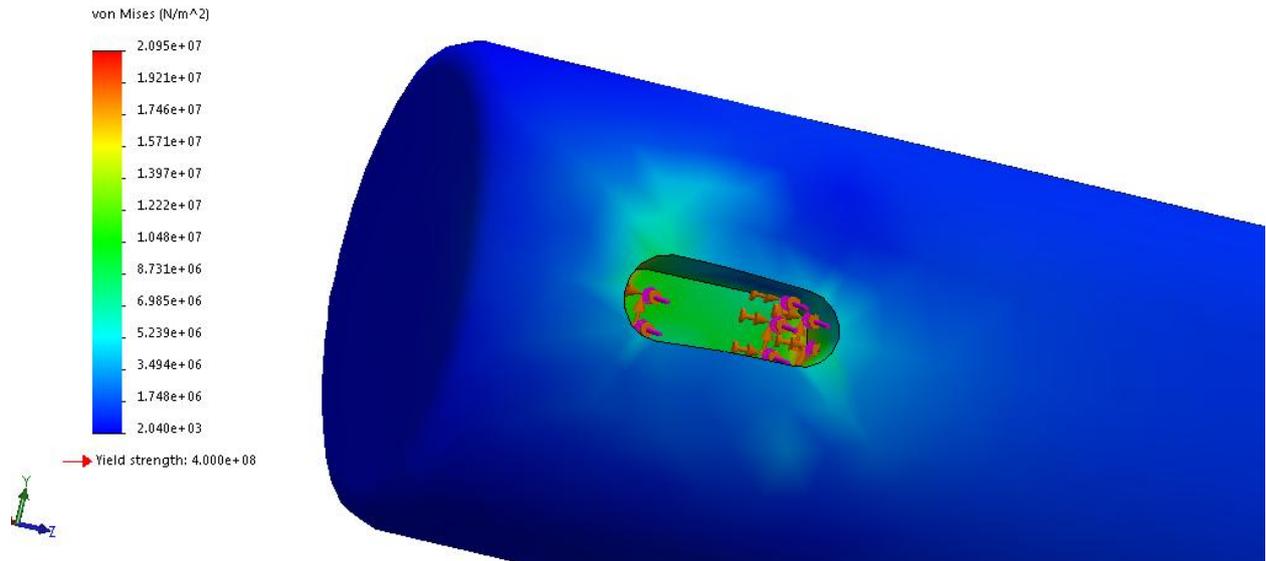


Figure III.10 : distribution des contraintes sur la première partie de la vis

Alors que la zone la plus sollicitée se trouve sur la rainure de clavette avec une valeur ne dépassant pas les $2.456 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Ces résultats du comportement de l'ensemble de cette vis semblent confirmer l'étude théorique faite dans la partie précédente.

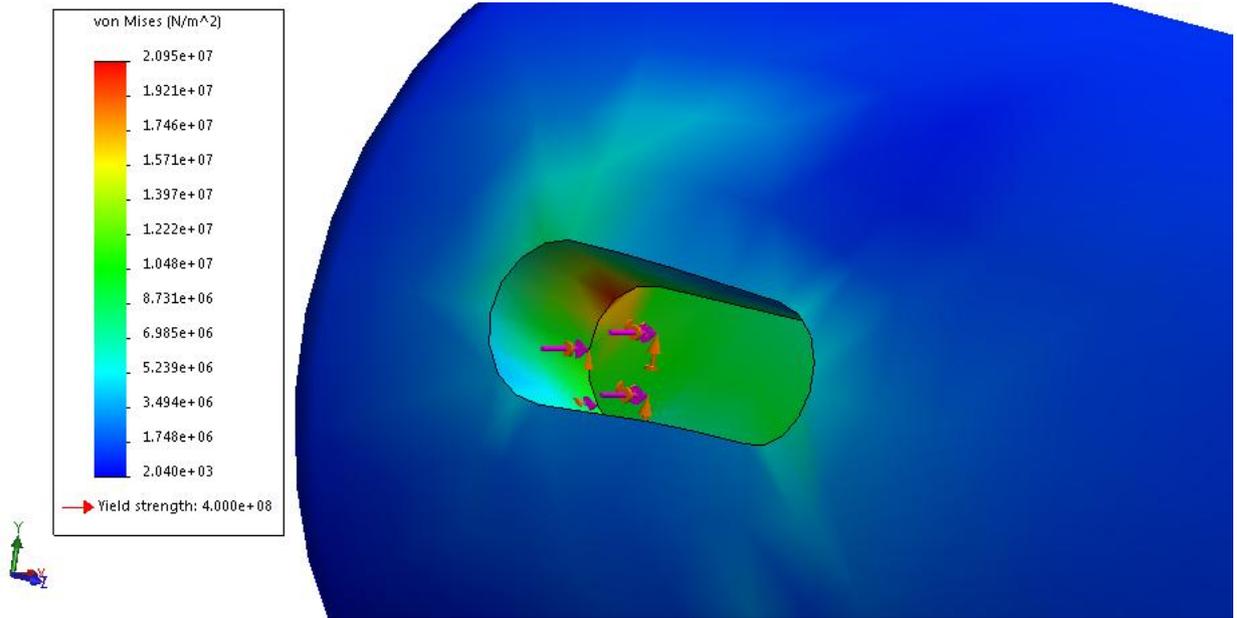


Figure III.11 : distribution des contraintes sur la clavette.

4.5.2. Présentation des déplacements de la pièce

La figure suivante indique les zones qui vont se déplacer dans notre pièce, nous remarquons que notre pièce présente un léger déplacement de 0,004261 mm, ce qui est évident, c'est le déplacement max qui se situe là où s'applique la force, est qui est d'une valeur très peu influente sur l'endommagement de la pièce. Ces résultats semblent confirmer l'étude de résistance faite dans la partie précédente car on a la flèche maximal qui est égale à 0,1mm.

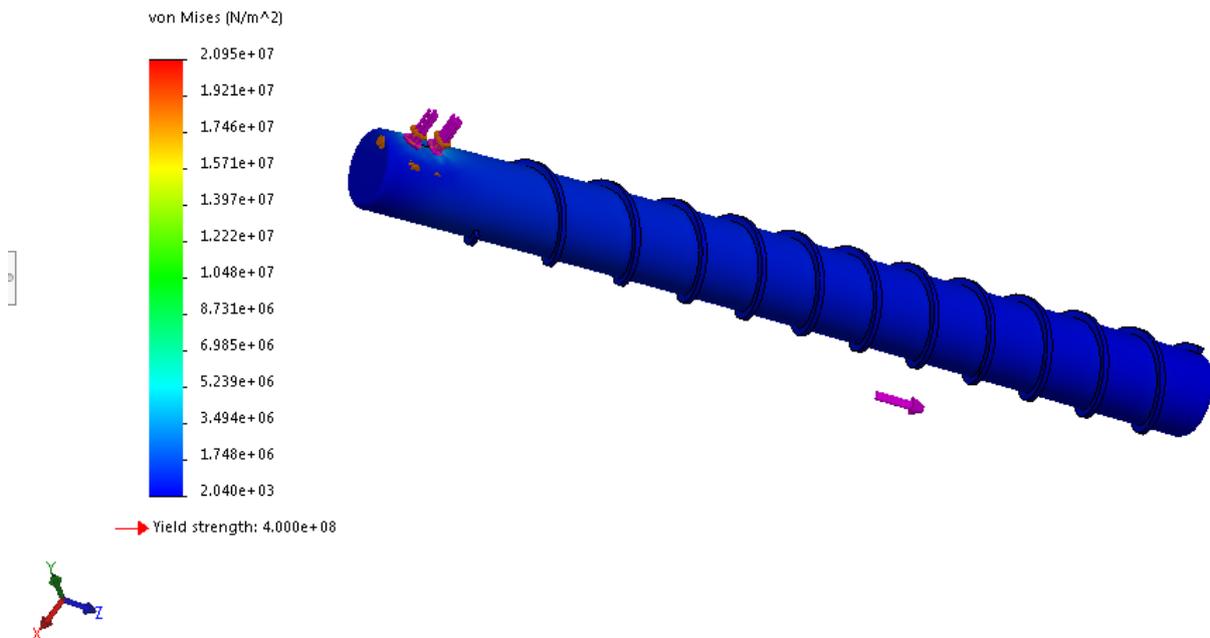


Figure III.12 : Présentation des déplacements lors de fonctionnement de la vis.

Conclusion :

Dans ce chapitre on voit que le module SolidWorks simulation confirme tous les résultats obtenus par les calculs RDM, on remarque aussi que notre vis va supporter ces charges appliquées soit en flexion ou torsion d'après ces résultats obtenus soit avec es lois RDM ou le module SolidWorks simulation.

Chapitre IV

Gamme de fabrication
pour la vis l'extrusion

Chapitre VI : gamme de fabrication pour la vis l'extrusion

1. Introduction :

Dans ce chapitre on va donner la gamme d'usinage pour la réalisation de notre vis d'Archimède sur un tour à 4 axes pour que l'atelier d'usinage suit notre étude lors de la fabrication.

2. Matériaux à usiner :

L'inox 304 ou inox A2 est couramment appelé inox alimentaire. Utilisé principalement dans l'électroménager, les casseroles et la coutellerie. Sa composition chimique est X2CrNi18-10 : Carbone : 0,02 - Chrome : 17 à 19% - Nickel : 9 à 11 %.

3. Abaque Inox 304 :

- Matériel d'outillage WC
- Vitesse de coupe 50 a 70 (m/min)
- Vitesse d'avance 0,2(mm/tour)
- Fréquence 20 000 et 30 000(Hz)
- Amplitude 10, 20(μ m)
- Insérer l'angle de coupe (0) 7
- Rayon de nez d'insertion 0,4(μ m). [17]

4. Caractéristique de tour :

- Diamètre maximum au-dessus du banc : 550 mm
- Longueur maximale de tournage : 530 mm
- Diamètre maxi de tournage : 255 mm
- Diamètre de passage de barre : 65 mm
- Nombre de chariots : 1
- Vitesse de broche : 5000 tr/mn
- Nombre d'axes : 4 axes (X, Z, B, C)
- Commande numérique : WEILER
- Tourelle : 1
- Nombre de postes sur tourelle : 12

- Avance longitudinale et transversale : 36000 mm/mn
- Moteur de broche : 15 kW
- Moteur des outils tournants : 2,2 kW
- Poids approximatif : 4300 kg
- Encombrement : 2500x1650x1900 mm
- Résumé : 4 axes (X, Z, B, C), Outil tournant, -Contre broche et axe C, - Ø mandrin de serrage 210 mm. évacuateur de copeaux. [17]

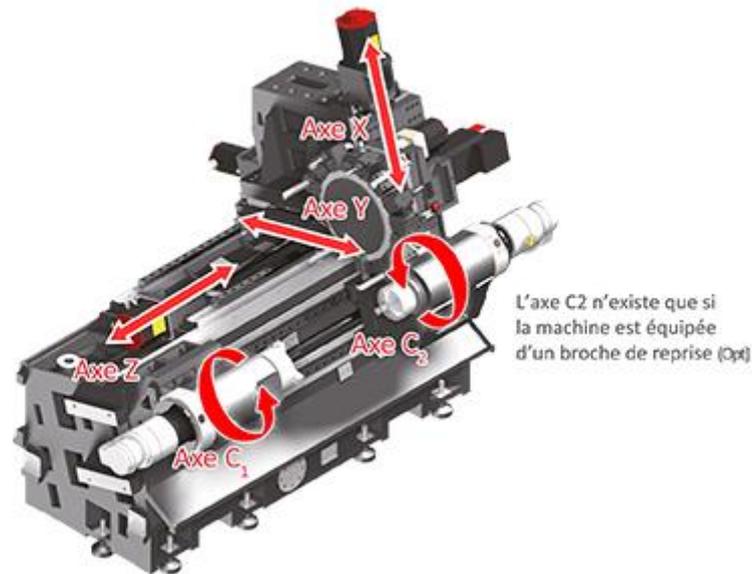


Figure VI.1 : tour à 4 axes.

5. Étapes d'usinage :

Pour réaliser la pièce sur la figure ci-dessus généralement les vis d'Archimède ce composent de deux parités :

- Un arbre usiné sur un tour.
- Une tôle enroulée sur l'arbre ce forme des hélices.

Elles sont assemblés entre eux avec soudage, mais dans notre cas on a préféré d'usiner les hélices car leur hauteur par rapport à l'arbre est très petite (2.5mm) donc c'est difficile a soudé les deux éléments, alors on a choisit de réaliser ces dernières par usinage.

5.1. Les étapes d'usinage de la vis d'extrusion :

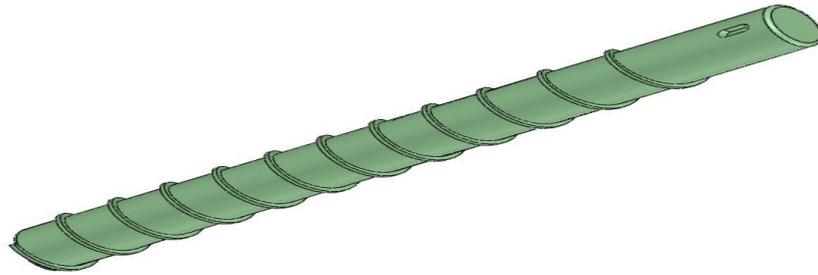


Figure VI.2 : vis d'extrusion

1. En premier lieu on prend un brute cylindrique de diamètre $D= 36\text{mm}$ de longueur $L=355\text{mm}$ de matériaux Inox304, afin de réussir un usinage il faut vérifier son matériel, donc la pièce doit être bien serrée dans la porte pièce, l'outil aussi doit être bien fixé, il faut parfois régler les outils (hauteur de point en tournage) ou les portes outils.

Il faut aussi vérifier l'état de l'outil, les arrêtes de coupe sont-elles en bonne état, éventuellement il faut changer les plaquettes carbure.

Utiliser le tableau des conditions de coupe pour obtenir la vitesse de coupe (V_c), l'avance (f_z) et la profondeur de passe (a), après on calcule les conditions de coupe : la vitesse de rotation (N) et la vitesse d'avance (V_f).

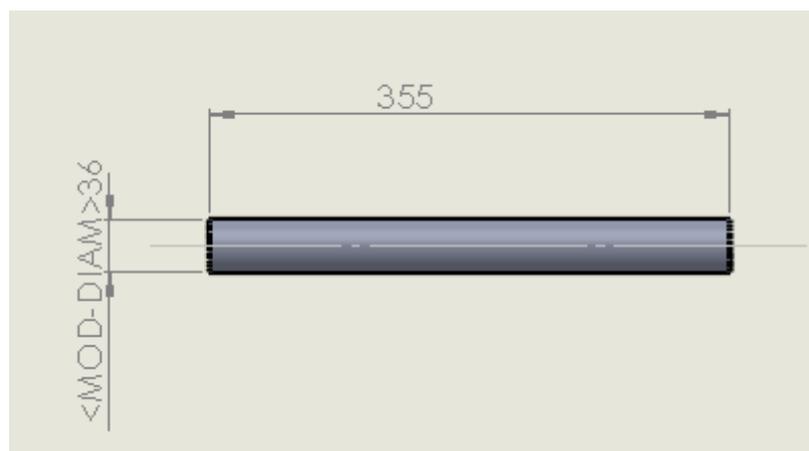


Figure VI.3 : la brute utilisée

2. association de surface :

Il est préférable d'usiner un maximum de surface sans démontage, cela permet d'éviter l'accumulation des erreurs de mise en position et d'usinage.

Il faut donc essayer d'usiner en même temps les surfaces liées les unes aux autres par des cotes aux IT les plus fiables.

De même on essayera dans la mesure du possible de réaliser la pièce en minimisant le nombre de montage/démontage de la pièce.

3. après la fixation de la pièce On utilise un dressage sur un coté de 2.5 mm sur en va faire des passes jusqu'à l'obtention d'un arbre de longueur 352.5mm.

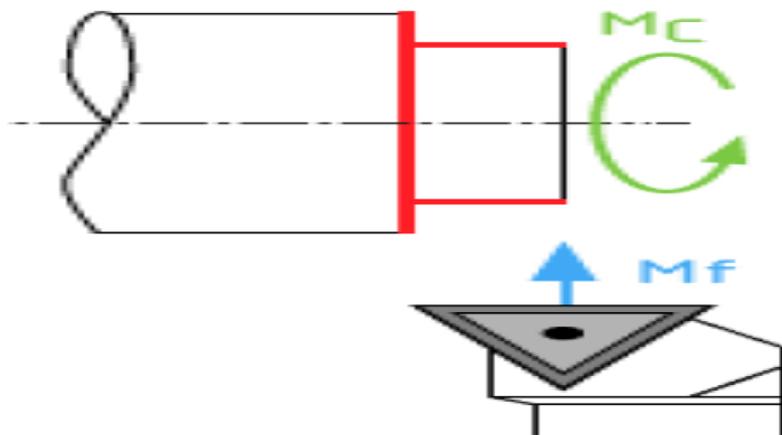


Figure VI.4 : opération de dressage

4. On utilise un outil à charioté et on va faire des passes jusqu'à l'obtention d'un arbre de diamètre 30 mm sur une longueur de 35 mm.

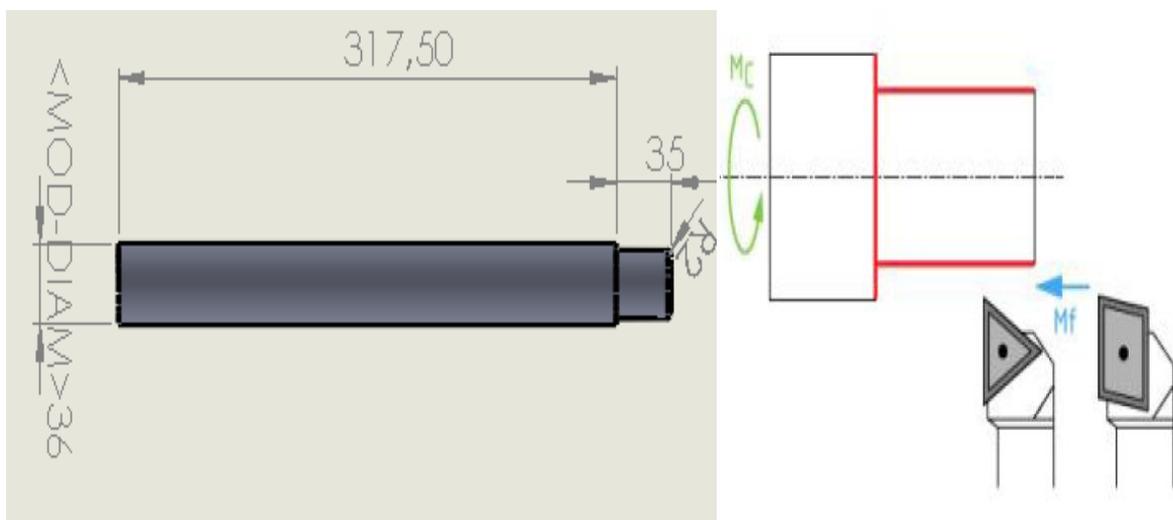


Figure VI.5 : opération de chariotage sur notre pièce

- on réalise le chanfrein de rayon 2 mm avec l'outil de chariotage sur le même coté pour éviter le démontage de la pièce à chaque fois.

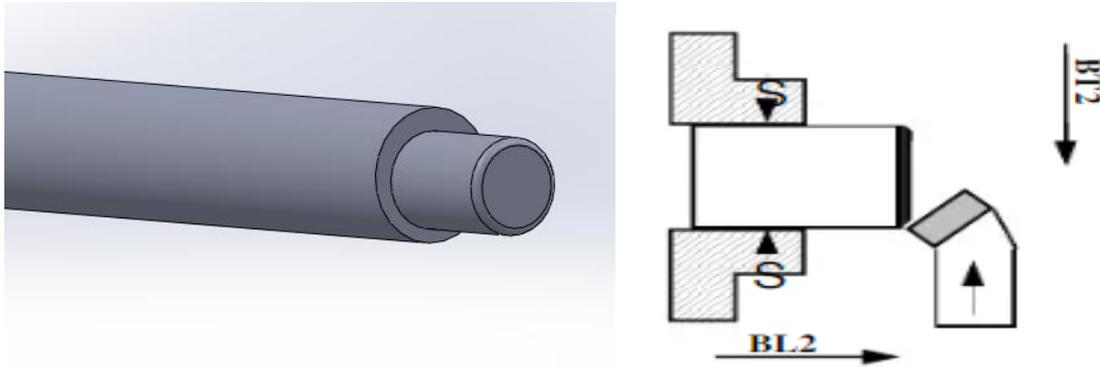


Figure VI.6 : chanfrein

- on tourne la pièce et puis on va le fixer sur l'autre coté et on fait du chariotage sur une longueur de 315 mm jusqu'à l'obtention d'un diamètre 32.5 mm
- on va faire un dressage de 2.5 mm sur le coté jusqu'à l'obtention d'un arbre de 350 mm de longueur

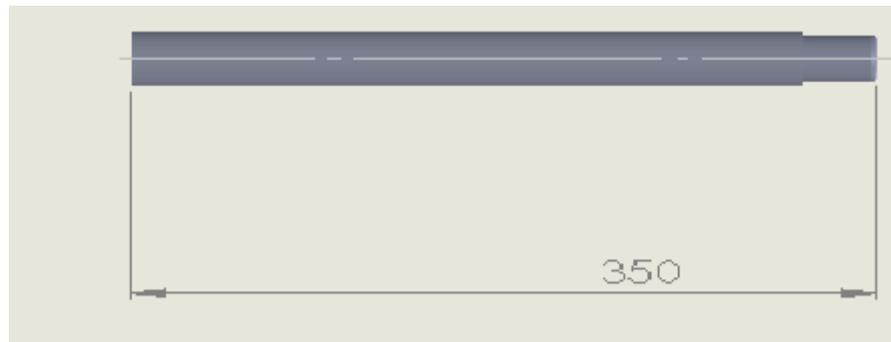
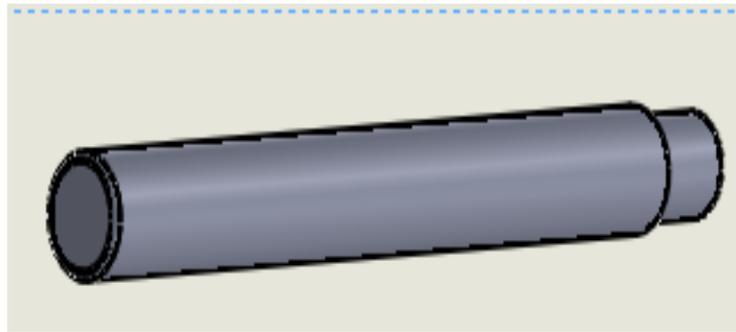


Figure VI.7 : dressage de l'arbre

- on va réaliser un deuxième chanfrein de rayon 2mm



9. dans le tour à 4 axes on peut utiliser le chariotage pour réaliser les hélices spirale..



Figure VI.8 : vis en état final Figure V.8 : deuxième chanfrein

10. après avoir finalisé notre pièce sur le tour à 4 axes, sa nous restes de faire la rainure pour la clavette avec une fraiseuse avec outil à rainurer.

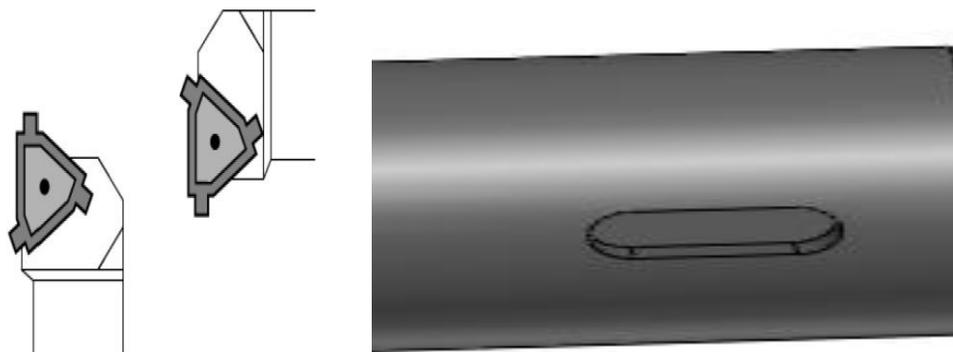
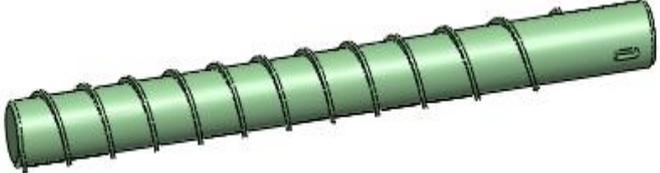
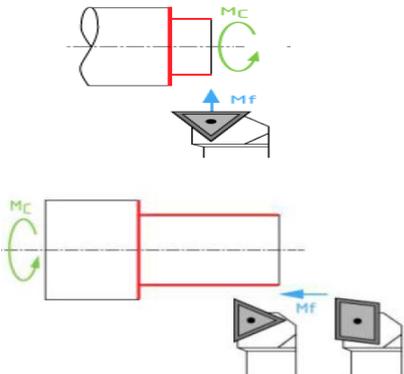
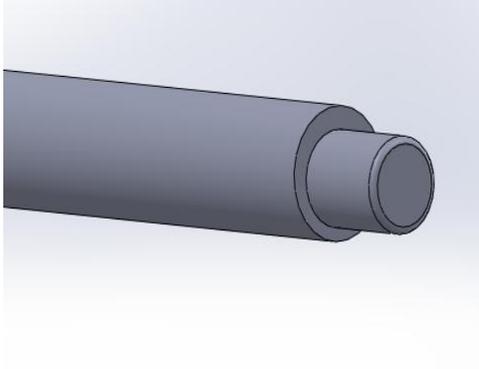


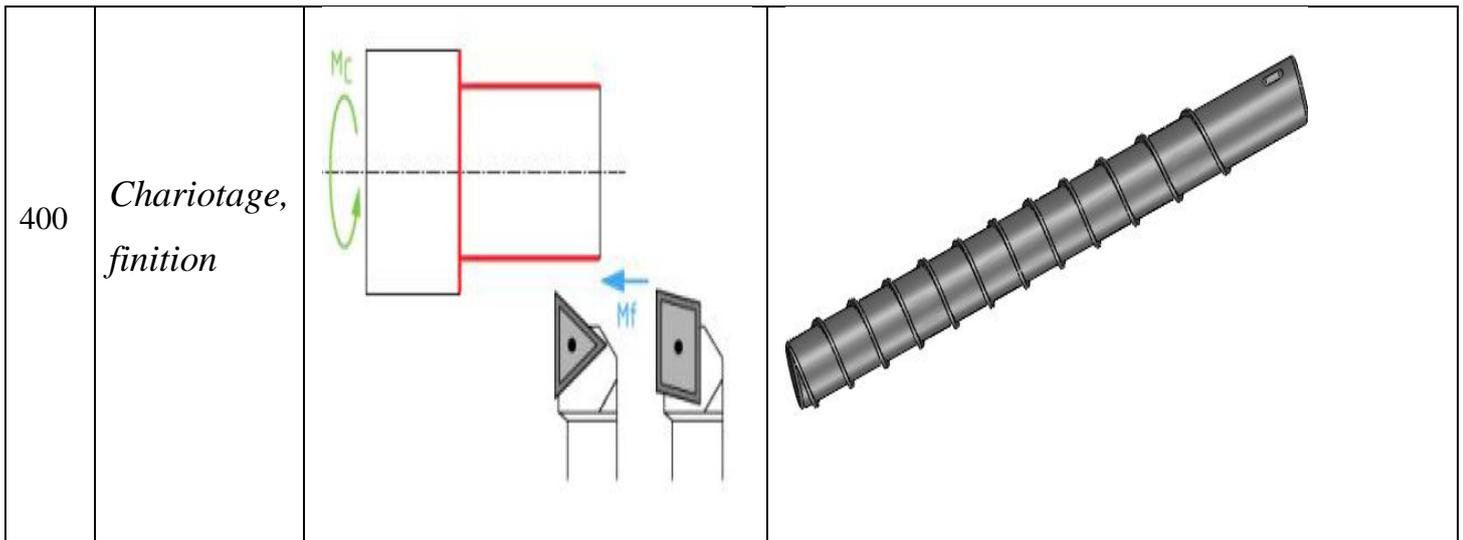
Figure VI.9 : réalisation de clavette

6. Gamme d'usinage

<p>Ensemble : extrudeuse Mano-vis</p>	<p>Nombre : 3 Les outils : 16², 20², 25²</p>	
---------------------------------------	---	--

Numéro de phases	Désignations des phases et sous phases	machines	Appareillage outils-coupants vérification	Croquis
100	<p>110-dressage-ébauche 120-chariotage, ébauche-, finition 130-chanfreinée</p>	<p>Tour 4 axes</p>		 <p>L=352.5 D=30</p>

<p>200</p>	<p>210-dressage- ébauche 220-chariotage- ébauche 230- chanfreinée 240-chariotage (hélices spirales)</p>	<p>Tour 4 axes</p>		<p>L=350 D'=32.5</p>
<p>300</p>	<p>Rainurer</p>	<p><i>Tour a 4 axes</i></p>		



Conclusion

Dans ce chapitre on a présente très clairement la succession des phases de fabrication et la gamme d'usinage de notre vis. Cela permettra à l'opérateur d'identifier la pièce et les surfaces à usiner.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le procédé de moulage par injection a pris une importance considérable sur le marché de la mise en forme des polymères. Cependant les industriels rencontrent plusieurs problèmes lors de la fabrication des pièces moulées liées à différents facteurs, Mais le vrai problème est liée d'une part à la géométrie complexe de la vis et d'autre part au différent sollicitation quelle doit résister et la nature des matériaux injectés, le but de tout concepteur est de créer une vis de plastification à hautes performances est résistante aux forces de traction, cisaillement, compression, et la température de fusion de la résine.

Ce travail a pour objectif l'étude et la conception d'une vis de plastification pour le procédé d'injection.

Premièrement, on s'est basé sur l'étude des généralités de l'injection plastique, et les différents matériaux utilisés dans ce processus. Afin de mieux comprendre le procédé d'injection par moulage.

Deuxièmement on a fait une étude approfondie sur tout ce qui concerne l'extrusion thermoplastique, et ces composantes. On a donné quelque généralisé sur le produit le PPR (Polypropylène Random).

Ensuite on a étudié la géométrie de la vis, et élaborer les différents calculs concernant le dimensionnement de différentes composantes du système étudié. pour la vérification de la conception de cette pièce nous avons utilisé le logiciel SolidWorks® outil (logiciel) de CAO et de simulation numérique. Pour vérifier sa résistance aux différentes sollicitations imposées. Et d'après cette analyse on a constaté que notre vis de plastification résiste aux différentes sollicitations subites au cours du processus d'extrusion. Enfin, on a fait la gamme de fabrication et les différentes étapes pour la réalisation de notre vis.

Ce projet nous a permis de nous familiariser avec un domaine jusqu'à lors inconnu, il a nécessité beaucoup de recherches bibliographiques et une maîtrise de l'anglais technique. Nous retiendrons de ceci la difficulté de collecter des données fiables concernant la géométrie des vis et leurs différentes caractéristiques, ce peut s'expliquer par la sensibilité du domaine traité, qui est souvent soumis au secret industriel.

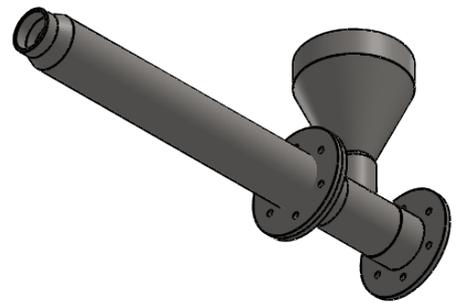
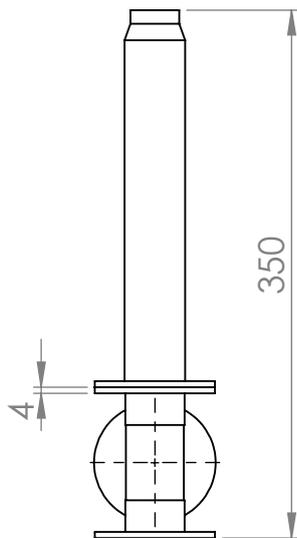
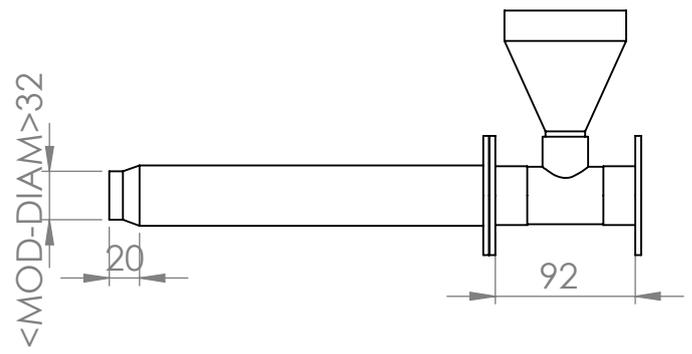
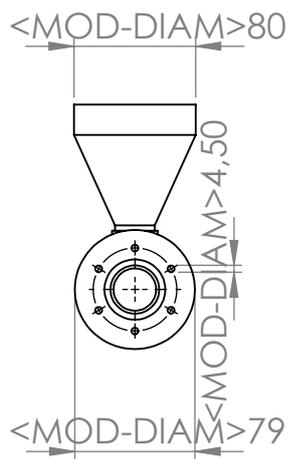
Comme tout travail le nôtre comporte certaines limites, on aurait aimé concevoir et réaliser notre modèle, malheureusement faute de moyens et du temps nécessaires, seule la partie théorique est présentée.

Liste bibliographique

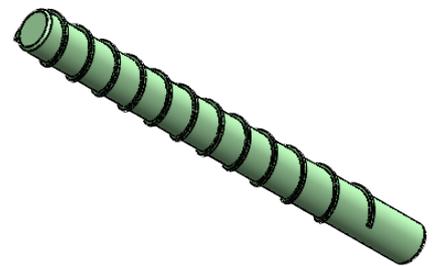
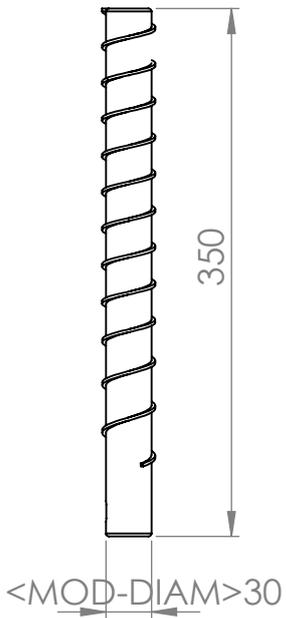
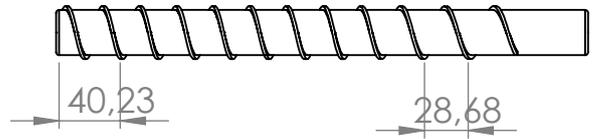
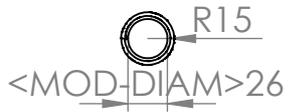
Référence

- [1] : <https://prototechasia.com/injection-thermoplastique/histoire-injection-thermoplastique>.
- [2] : Cours Mr boutaani 2022 sur le module injection plastique.
- [3] : <https://www.plastisem.fr/guide-plastique/l-injection-plastique->
- [4] : <https://www.plastisem.fr/guide-plastique/l-injection-plastique-1/>
- [5] : <https://www.hubs.com/fr/guides/moulage-par-injection/>
- [6] : Gonei Kasmir. Développement d'un outil de design pour les buse thermique des moules a canaux chauds, Thèse de doctora,Ecole polytechniques de montréal canada, 1999
- [7] : Djoudi Tarek, Djemal Hocine, Étude de la phase de remplissage du moulage par injection dans le cas d'un moule secteur, mémoire d'ingénieur, université Mohamed khider BISKRA, 2001.
- [8] : cours hadjou mâtereaux non métallique
- [9] : <http://plasturgiejp.free.fr/atelier%20plasturgie/extrusion/Extrusion.pdf>
- [10] :http://biblio.univantananarivo.mg/pdfs/andriantsihoaranaRatsimbaMN_ESPA_ING_09.pdf
- [11] : <http://fr.kangyupipeline.com/news/what-is-the-ppr-plastic-pipe-11386836.html>.
- [12] : <https://matieredumonde.com/acier-inoxydable-304/>
- [13] : AUBLIN Michel, BONCOMPAIN René, BOULATON Michel, CARON Daniel, JAEY Emilie, LACAGE Bernard et REA Jaky. Systèmes Mécaniques, Théorie et dimensionnement Edition DUNOD 2006. ISBN 2100491040.
- [14] : ELOY Christian. Conception En Construction Mécanique, 1981, Edition DUNOD, ISBN 2-04-010770-3.
- [15] : [https:// www.solidworks.com/education](https://www.solidworks.com/education)
- [16] : Thèse Hervé Oudin , introduction à la Méthode des éléments finis, 26 May 2011.
- [17] : wiewncwe.sdcirieecntc.ceodirect.com

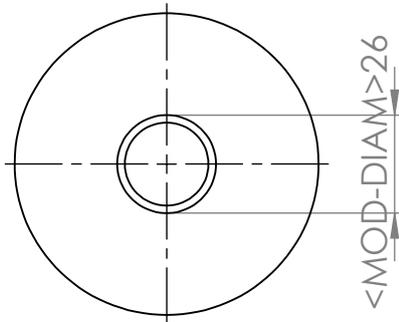
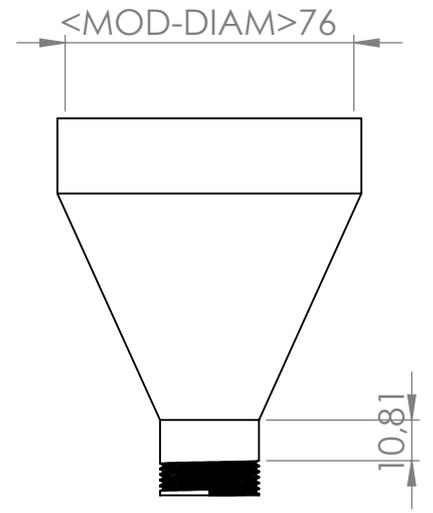
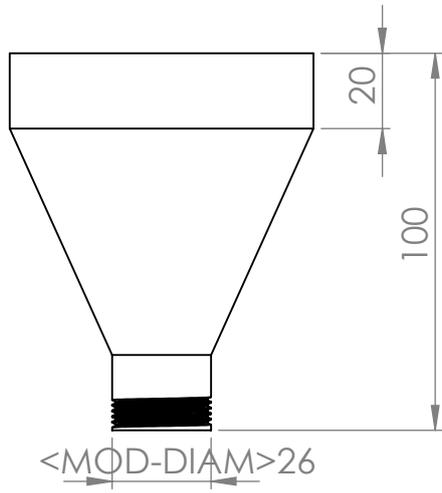
Annexes



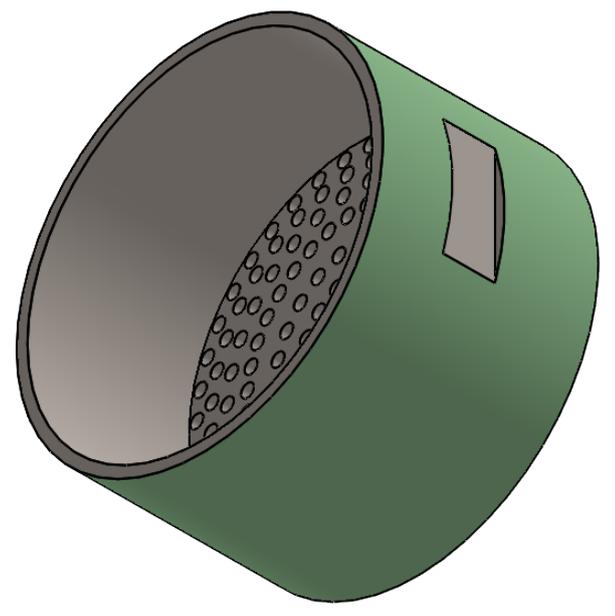
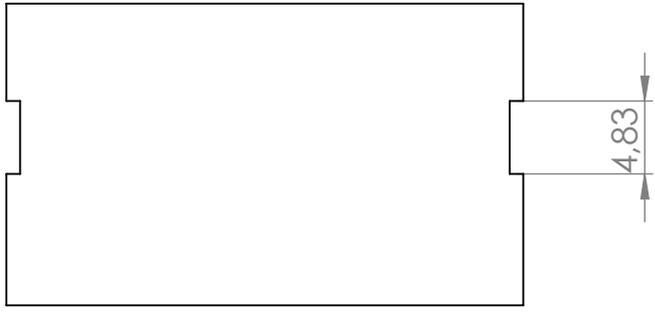
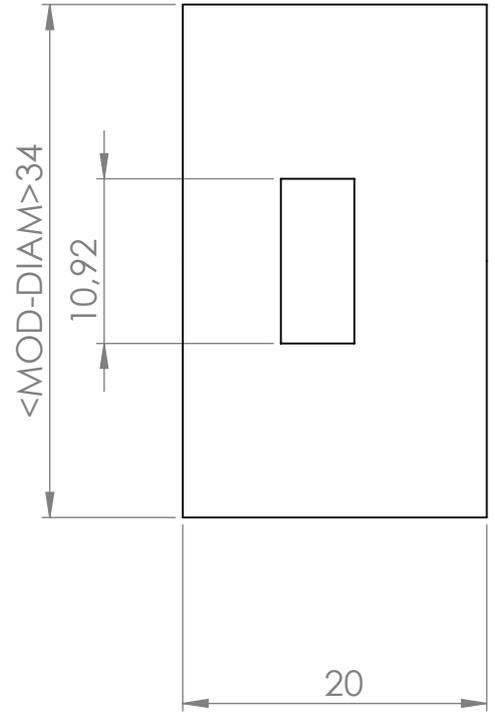
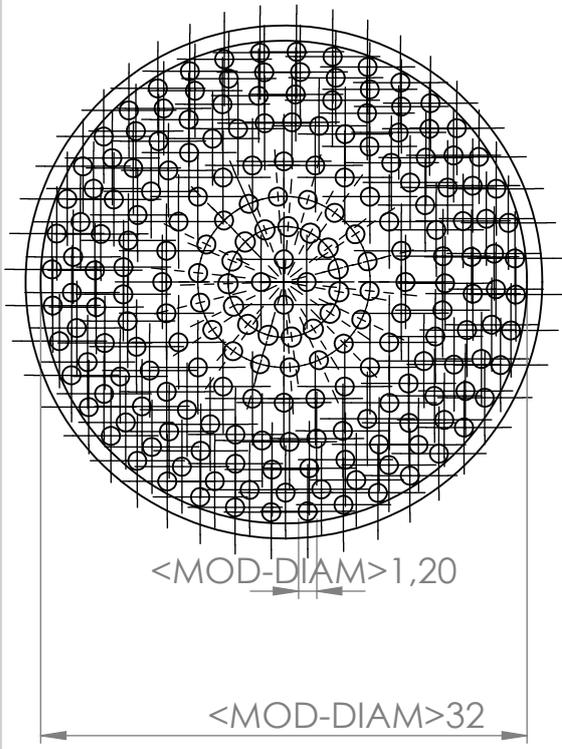
UNIVERSITE A- MIRA BEJAIA		
ECHELLE 1:5	TREMIE	LE 25/06/2022
		PFE
BENHAMA.D BOUAMARA.A		M2 FMP



UNIVERSITE A- MIRA BEJAIA		
ECHELLE 1:5	VIS	LE 25/06/2022
		PFE
BENHAMA.D BOUAMARA.A		M2 FMP

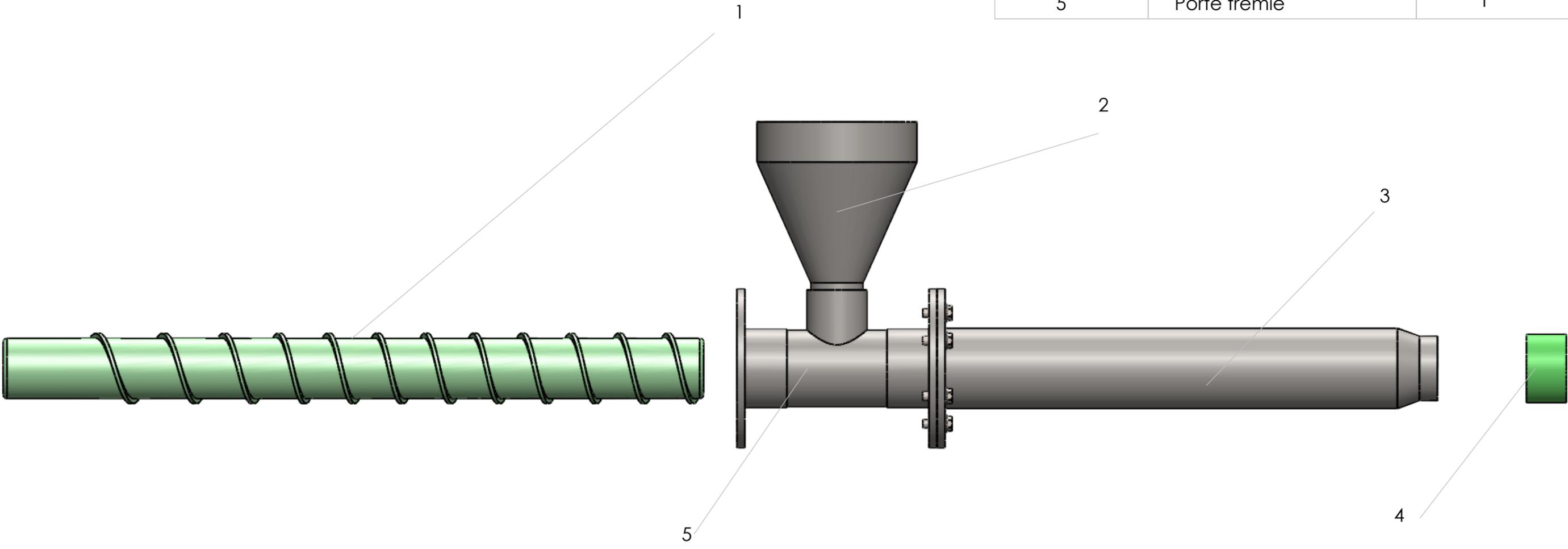


UNIVERSITE A- MIRA BEJAIA		
ECHELLE 1:5	TREMIE	LE 25/06/2022
		PFE
BENHAMA.D BOUAMARA.A		M2 FMP

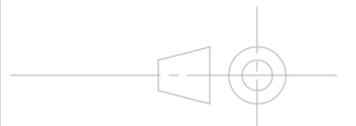


UNIVERSITE A.MIRA BEJAIA		
ECHELLE 1:5	BOUCHON	LE 25/06/2022
	BENHAMA.D BOUAMARA.A	PFE
		M2 FMP

No.Article	DESCRIPTION	QTE
1	Vis	1
2	trémie	1
3	Fourreau	1
4	Bouchon	1
5	Porte trémie	1



Tolérance +/-0.1

UNIVERSITE A-MIRA BEJAIA		ACIER INOX 304
Echelle 1:2	VUE ECLATE DE L'EXTRUDEUSE	le 25/06/2022
		PFE
BENHAMA.D BOUAMARA.A		M2 FMP